CyberKnife Ⅱ

岡山旭東病院　サイバーナイフ室

序　文

サイバーナイフはスタンフォード大学の脳神経外科医師Dr. John Adler,Jr.によって考案され、Accuray社で開発されました。私は、サイバーナイフはロボットの先端に小型のリニアックを装着して、照射の自由度を確保し、病巣追跡システムを備えた強固な固定装置を必要としない画期的な医療機器であると思います。

最大の特徴は、フレームを必要とせず患者様に優しい装置であることです。

私は開発者のDr.Adler、大阪大学　井上俊彦教授（現名誉教授）、1号機を導入した宇部厚南セントヒル病院の斎藤 研一先生のサイバーナイフに掛ける情熱に共感して、患者様に喜んでいただけるに違いないと確信しサイバーナイフを導入いたしました。

２０００年６月に当院で治療を開始し、２００２年１２月には８００例を超えて順調に推移いたしましたが、輸入元の申請ミスから、２００２年１２月４日に自主回収となり、２００３年３月には厚労省より回収命令がでて１年７ヶ月の間サイバーナイフに治療は中止となりました。多くの患者様、医療機関には多大な迷惑をおかけしました。再開までの間、サイバーが稼動している韓国がんセンター（Korean Cancer Center）、近隣のガンマーナイフ施設での治療をお願いして参りました。

この小冊子「CyberKnifeⅡ」は馬場義美先生を始めサイバーナイフセンターのスタッフが、今までの、学会発表や、症例をまとめてサイバーナイフの実績を一冊の本にしたものです。また、この本は、今までご紹介いただいた先生方、これからサイバーナイフを導入したいという施設の方々に見ていただきたいという趣旨で執筆したものです。

定位放射線療法はこれから、頭頚部だけでなく、体幹部への適応が広まっていくものと思います。すでに欧米、韓国などではサーバーナイフの体幹部への照射が行なわれていますが、残念ながら未だ日本では認められていません。しかし、近い将来の適応拡大を願っています。

定位放射線療法は、非侵襲的治療の一翼をになう治療法として発展していくものと期待されています。本書「CyberKnifeⅡ」がサーバーナイフに興味のある医師や放射線技師の皆様にとっての案内書の役割も果たすことを願っています。

２００４年7月３１日
岡山旭東病院　院長　土井章弘

CyberKnifeII　はAccuray社の登録商標です。

岡山旭東病院サイバーナイフ症例集／目次

1　サイバーナイフ概説

1）サイバーナイフの歴史 ……………………………1

2）定位放射線治療と外照射 ……………………………1

3）治療計画の評価 ……………………………2

4）診療報酬 ……………………………3

2　サイバーナイフの構成・特徴など

1）サイバーナイフの構成 ……………………………4

・直線加速器（Linac） ……………………………4

・ロボットアーム ……………………………4

・病巣認識システム ……………………………4

・治療計画装置 ……………………………5

2）非侵襲的技術 ……………………………5

3）時間的自由度 ……………………………6

4）空間的自由度 ……………………………5

5）CyberKnifeの適応症例 ……………………………5

6）治療と模擬照射（正確度の検証） ……………………………5

7）治療の実際 ……………………………5

・治療計画 ……………………………5

・治療当日 ……………………………6

8）今後の発展性 ……………………………7

9）まとめ ……………………………7

10）その他 ……………………………8

・Single Center Planning ……………………………8

・ Conformal Planning ……………………………9

・ 辺縁線量の定義 ……………………………10

・ 岡山旭東病院における治療症例 ……………………………11

・ 岡山旭東病院における学会・誌上発表一覧 ……………………12

・ 厚生労働省ホームページ 報道発表資料 ……………………14

3　サイバーナイフの精度・精度管理

1）はじめに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16

2）CyberKnifeのQA ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16

・Daily, Quarterl, Annually ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16

・毎日のQA、毎月のQA ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16

・四半期ごとのQA、1年毎のQA ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・17

3） CyberKnifeの精度 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・17

（1） 照射位置精度 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18

（2） 線量及び線量分布の評価方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・20

4） まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・22

4　臨 床

A 血管性病変 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・23

AVM　硬膜動静脈瘻 海綿状血管腫等

B 脳腫瘍

① 転移性脳腫瘍 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・37

② 原発性脳腫瘍

・ 髄膜腫 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・46

・ 神経鞘腫（ 聴神経鞘腫 ） ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・66

・下垂体腺腫 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・75

・ 頭蓋咽頭腫 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・80

・ 悪性神経膠腫 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・83

C 頭頸部腫瘍

口腔・上顎・咽頭・頸部腫瘍等 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・91

1 サイバーナイフ概説

1 サイバーナイフの歴史

サイバーナイフはスタンフォード大学の脳神経外科医師 Dr.John Adler,Jr.等によりAccuray社で開発された装置であり、工業用ロボットに小型のリニアックを装着することで照射の自由度を広げるとともに、病巣追跡システムを考案することにより強固なフレームを排除した画期的な製品である。

従来、定位放射線治療はフレームで頭部を固定し、治療範囲を頭頚部に限定する概念があったが、フレームを排除することにより全身対応が可能になったことでも意義のある装置である。

最初にサイバーナイフを本邦へ導入したのは宇部厚南セントヒル病院である。同院の脳神経外科医斎藤先生によると、γナイフを導入の予定で1993年には建物もほぼ完成していたが、サイバーナイフ(当時 Neutron 1000)に関するニュースを知り、まだ開発中の機械を見学にアメリカへ行ったのがきっかけとの事である。

サイバーナイフの1号機は1994年にStanford大学で治療を開始、本邦では1997年11月に宇部厚南セントヒル病院にて稼動した。当時はまだ保険診療が認められてなく、自費での診療であったが、その後定位放射線治療が保険で認められるようになり、急速に国内で普及するようになった。

岡山旭東病院には大阪大学についで国内3台目のサイバーナイフが導入され、2000年6月から治療を開始した。

当初は頭頚部専用の治療装置であったが
アメリカでは2001年秋に体幹部治療が認可された。

メディテック社(輸入販売店)より、「自由診療であれば国内で体幹部治療にも使える」との説明があり、2002年春に体幹部治療のための改良工事をおこなった。しかし、その後、「法的に問題があるので、自由診療としての体幹部治療も自粛してほしい」との依頼があり、体幹部については数例の患者様の治療をしたのみでその後はお断りした。

メディテック社は、2002年始頃から体幹部治療適応拡大のために厚生労働省へ提出する書類の準備をしていたが、その手続きの経過で、当初に認可を受けた仕様と稼動中のサイバーナイフの仕様が異なるものである事を認識し、まず稼動中の機械の一部変更申請をおこなった。

サイバーナイフとして認可をうけた仕様(ロボット:S-420F)と宇部に輸入した1号機が異なるロボッを使用していることがわかり(宇部阪大のロボット:S-420iW 旭東以後:S-430iW)自主回収をするように厚生労働省より指導を受けた。

メディテック社は2002年12月4日に各病院宛に自主回収の通達を出した。多くのユーザーはそれに従う形で治療を中止した。2003年春になり、厚生労働省より回収命令が出て回収となった。　　　　（巻末に資料を添付）

その後、Accuray社が新たに医療器械としての認可申請をおこない、2003年12月26日 CyberKnife II として認可が得られた。千代田テクノル株式会社がメディテックにかわる輸入販売店として、サイバーナイフを扱うことになった。

2004年3月末より漸次新機種の設置を開始している。

2 定位放射線治療と外照射

定位放射線治療には線源としてコバルトを使用したものと直線加速器を使用したものがある。

サイバーナイフは、直線加速器による定位放射線装置であり、診療報酬点数表では照射中心の固定精度が2㎜以内と定義されている（平14.3.8　保医発　0308001）が、サイバーナイフでは他のリニアックの様な照射中心が存在しないので、総体誤差（治療全体における誤差）にて精度を評価している。以前の CyberKnife での検証では平均総体誤差は1㎜未満であった。

通常の外照射では、1～3Gy／日の線量にて5－10回／週で照射する場合が多い。多分割治療の場合には照射間隔を６時間以上とすることにより、正常細胞は照射から次の照射の間に放射線障害から回復するが、腫瘍細胞は回復しない（遅い）ので、繰り

返し照射を行う事により　正常組織を保護し、腫瘍に対する治療効果を得ている。

ＬＱモデル A1)　によると、1回の線量を増加すれば、それにしたがって晩期障害が強くなる事になり、腫瘍周囲への副作用が懸念される。上記の理論を熟知している放射線科医師は大量1回投与が危険なものであるとの認識が強く、定位的治療法は脳神経外科医師のチャレンジから生まれた治療法である。

定位放射線治療では従来の外照射と異なり病巣の周辺で放射線が急激に減少するために１回治療でも晩期障害が少なくてすんでいると考えられている。

定位放射線治療のうち、1回照射を定位手術的治療Stereotactic Radiosurgery (SRS) と呼び　分割照射を定位放射線治療　Stereotactic Radiotherapy(SRT)と呼ぶ。これらを総称して定位放射線照射　Stereotactic irradiation(STI) と呼ぶ。 1回7Gy程度までであればLQ(linear−quadratic)モデル A1)　へ適応出来るとされているが、それ以上の線量では検証データが無いため、SRTでの分割回数と線量の決定において、今後の検討が必要である。

3　治療計画の評価

病巣へ充分な放射線を集中して照射し、周辺へは放射線があたらない治療が理想である。

この理念に沿った治療法の1つとして腫瘍内へ線源を置く小線源療法がある。この方法は、病巣周囲への照射を軽減できるが、小線源刺入のために手術を要するなど侵襲的であり、また線源・患者様の管理などが煩雑なこともある。

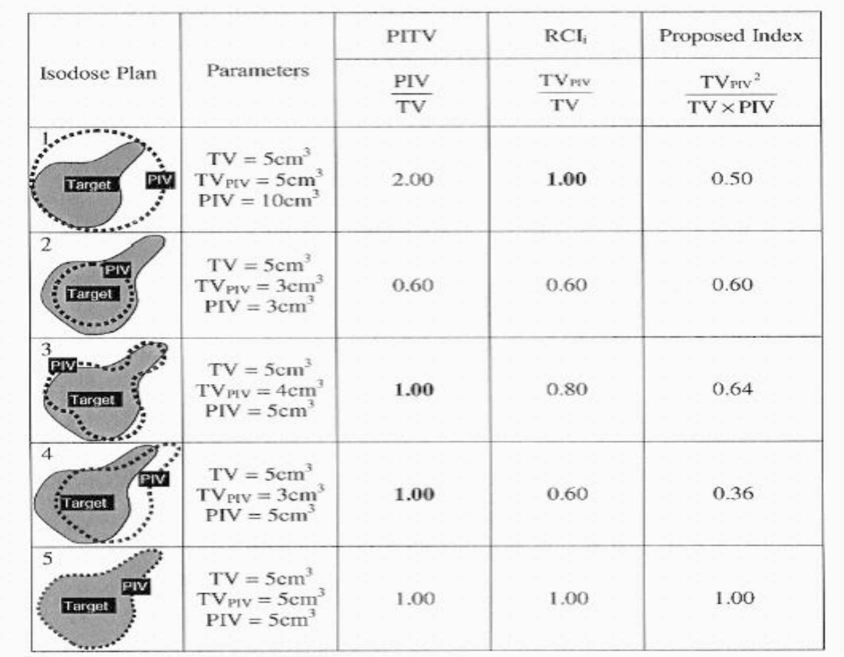
侵襲が少ない方法として考えられたのがサイバーナイフ・ガンマーナイフ等の定位放射線治療であるが、これは体外からの照射によるものであり、病巣周辺への照射は避けられない。

定位放射線治療を行う際には前もって治療計画を作成し、その作成された計画が妥当なものであるかどうかを評価する基準が必要である。

評価の方法としてCI(Conformity Index)の概念が導入されている。下図は論文（J Neurosurg (Suppl 3) 93:219–222、2000）よりの引用であるが、PI = Prescription Isodose;　PIV = Prescribed Isodose Volume;　TV = Target Volume TVpiv=Target Volume prescribed isodose volume (Prescribed Isodose により囲まれたTarget Volume) とすると従来のCIには、PIV/TV とかTVpiv/TV を用いているものが多いが本論文では Proposed Index として、CI=(TVpiv)^2/(PIxPIV) を提案している。

他のIndexより妥当な評価が出来る指数であると考え、最近の症例では治療計画作成時にこのCIを計算するように心がけている。

治療計画上は理想的な線量分布を示していても、照射誤差も考慮にいれて治療するようにしないと病巣の周囲から再発などの危険性があるこを認識しておかなくてはならない。



Isodose Plan	Parameters	PITV $\frac{PIV}{TV}$	RCI_1 $\frac{TV_{PIV}}{TV}$	Proposed Index $\frac{TV_{PIV}^2}{TV \times PIV}$
1 (Target, PIV)	TV = 5cm^3 TV$_{PIV}$ = 5cm^3 PIV = 10cm^3	2.00	**1.00**	0.50
2 (PIV, Target)	TV = 5cm^3 TV$_{PIV}$ = 3cm^3 PIV = 3cm^3	0.60	0.60	0.60
3 (PIV, Target)	TV = 5cm^3 TV$_{PIV}$ = 4cm^3 PIV = 5cm^3	**1.00**	0.80	0.64
4 (PIV, Target)	TV = 5cm^3 TV$_{PIV}$ = 3cm^3 PIV = 5cm^3	**1.00**	0.60	0.36
5 (PIV, Target)	TV = 5cm^3 TV$_{PIV}$ = 5cm^3 PIV = 5cm^3	1.00	1.00	1.00

Comparison of the PITV ratio and the new conformity index for　various treatment plans。 **J Neurosurg (Suppl 3)** 93:219–222、 2000

4 診療報酬について

サイバーナイフは直線加速器による定位放射線治療装置であり､下記の如く定義されている。三叉神経痛などここに記載されて無いものは健康保険治療対象にならない。（ 医科診療報酬点数表関係　第12部　放射線治療 ）

M001－3　直線加速器による定位放射線治療

(1)直線加速器による定位放射線治療とは、直線加速器（マイクロトロンを含む。）により極小照射野で線量を集中的に照射する治療法であり、照射中心の固定精度が2mm以内であるものをいう。　体幹部に対する治療にあっては、照射中心の固定精度が5mm以内であるものをいう。

(2)頭頚部腫瘍 （頭蓋内腫瘍を含む。） 及び脳動静脈奇形に対して行った場合にのみ算定し、体幹部に対する治療にあっては、原発病巣の直径5cm以内で､転移病巣の無い原発性肺癌または原発性肝癌、及び3個以内で他病巣の無い転移性肺癌又は転移性肝癌、 及び脊髄動静脈奇形に対して行った場合にのみ算定し、数か月間の一連の治療過程に複数回の治療を行った場合であっても、所定点数は1回のみ算定する。

(3)定位型手術枠又はこれと同等の固定精度を持つ固定装置を取り付ける際等の麻酔、位置決め等に係る画像診断、検査、放射線治療管理等の当該治療に伴う一連の費用は所定点数に含まれ、別に算定できない。

ガンマナイフに対しては下記の如く記載されている。

M001－2　ガンマナイフによる定位放射線治療

(1)ガンマナイフによる定位放射線治療とは、半球状に配置された多数のコバルト60の微小線源から出るガンマ線を集束させ、病巣部を照射する治療法をいう。

(2)数か月間の一連の治療過程に複数回の治療を行った場合であっても、所定点数は1回のみ算定する。

(3)　定位型手術枠（フレーム）を取り付ける際等の麻酔、 位置決め等に係る画像診断、 検査、放射線治療管理等の当該治療に伴う一連の費用は所定点数に含まれ、別に算定できない。

体幹部の定位的治療についても2004年4月より保険適応となったが、下記の如く施設基準が追加された。

直線加速器による定位放射線治療の施設基準

1)放射線治療を専ら担当する常勤の医師（放射線治療について相当の　経験を有するものに限る。）が配置されていること。

2)当該治療を行うにつき十分な機器、施設を有していること。

施設基準通知概要

1)放射線科を標榜している保健医療機関であること。

2)放射線治療を専ら担当する常勤の医師（放射線治療の経験を5年以　　上有する者に限る。）及び放射線治療に関する機器の精度管理等を　専ら担当する者（診療放射線技師、医学物理士等）がそれぞれ1名以　上いること。

3)当該管理を行うために必要な次に掲げる機器、設備を備えていること

- 直線加速器（マイクロトロンを含む）
- 治療計画用CT装置
- 3次元放射線治療計画システム
- 照射中心にたいする患者の動きや臓器の体内移動を制限する装置
- 微小電離箱線量計または半導体線量計 （ダイヤモンド線量計を含む） および併用する水ファントムまたは水等価個体ファントム

文献）

A1)・直線加速器による定位放射線照射の理論と実際　柴田尚武ら編
医学書院　 p18-24

・The linear-quadrantic　formula and progress in fractionated radotherapy。
Fowler JF。　　Br J Radiol 1989;62:679-694

2 サイバーナイフの構成・特徴など

1 サイバーナイフの構成

本装置は基本的に直線加速器(Linac)、ロボットアーム、位置認識装置(Target Locating System TLS) および 治療用コンピューター(Treatment Planning System TPS)より構成されています。

直線加速器(Linac)

エネルギー6 MVのX線 を 400cGy/min 発生します。X bandのRFを用いることで小型軽量化(150kg)されています。Collimatorは5mm～60mmの12種類が用意され、X線narrow beamを用いての定位集光照射を行います。

ロボットアーム

6軸の自由度(関節)を有するロボットアームはその先端にLinacを装着し、自由にすばやく動きます。その繰り返し精度は先端で±0.2mm以下とされています。当院のサイバーナイフでは照射野の中心から半径80cmの球面上に100の照射点(Node)を設定し、各点よりそれぞれ12方向へ照射可能です。つまり、最大1200本のビームを利用することが可能です(実際の治療には50本-200本程度を使用します)。なお、ロボットには学習機能もありますので、先端に150KgのLinacを装着、そのリニアックから約80cm先の目標点をレーザービームで狙ったときの誤差が実測で平均0.2mm程度となっており、正確な治療が出来ます。(図 1)

位置認識システム
(Target Locating System TLS)

CT撮影時のデータから、前もって再構成画像(Digitally Reconstructed Radiography DRR)を作成します。

治療室の天井から45度の角度で二方向より診断用のX線を照射し、治療台の上の患者様の頭蓋骨を撮影します。

DRRと頭蓋骨を3次元的に比較し、病巣位置(移動)を認識します。

放射線感受装置(カメラ部分)は、当初はCCDカメラを使ったものでしたが、最近はアモルファスシリコンプレートを採用した高感度でひずみの無いものに改良されました。

病巣の認識の方法にCyberKnifeでは 3D 6D, Fiducialの3方法がありました。

3Dはxyz3方向でずれ(動き)を認識する方法であり、当初からサイバーナイフで採用されてきた方法です。10mm以内のずれであれば、ロボットの座標を補正することにより誤差の無い治療を可能としました。

この3D認識の方法はCyberKnife IIでは使用できなくなり、6Dのみとなりました。

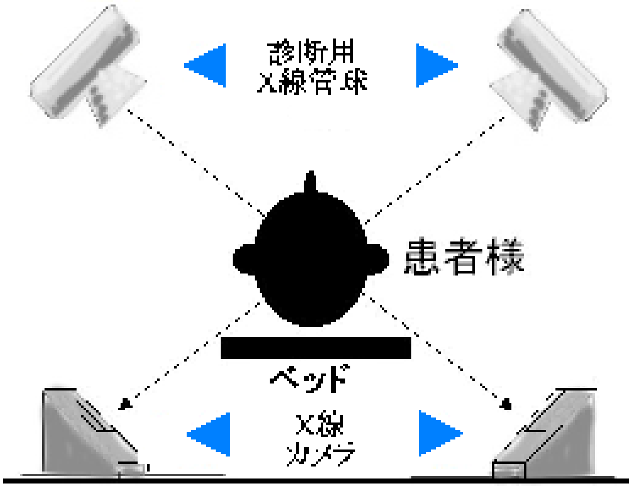
6D認識法は3Dにxyz各軸の回転を加味したものです。6D認識法も以前からありましたが、認識に時間が余分にかかり、精度も満足できるものでなかったため、われわれは使っていませんでした。

図１　サイバーナイフ装置本体（ロボットアーム・リニアック・位置認識装置のカメラ部分が写っている。）

CyberKnife II では6Dの認識方法が改善され、速やかで正確な処理が可能となり6D認識のみとなった。10mm以内の動きであれば自動で補正して治療を継続する。

Fiducial Planning は体内の病巣近傍に挿入した数個の微小ステンレススクリューまたは金マーカーを認識することにより腫瘍の位置(誤差)を認識する方法である。主に体幹部治療に用いられる認識法であるが、2004年4月の時点では日本では使用できない。

病変追尾装置(位置認識のシステム+ロボット位置補正システム)の開発により、ガンマーナイフ等で従来定位放射線照射装置に必要とされてきた強固な固定用フレームが不要となり、簡易な固定にて正確な定位放射線治療が可能となったことは大きな進歩である。



(図 2) Target Locating System (TLS): 天井に一対の診断用X線管球、床には一対のアモルファスシリコンプレートがあり。三次元的に患者様の位置情報を取得します。

治療計画装置
(Treatment Planning System TPS)

Silicon Graphics社製のWorkstationを使用して治療計画を作成します。まず、治療計画用に撮影したCT、MRI画像をコンピューターに取り込みます。CTとMRIはコンピューターで合成することが可能です。ＣＴは1～2mm厚のAxial画像を撮影し、それを合成してCoronalとSagittalの画像を作成・表示し診断を容易にしています。

治療計画作成の具体的な手段としては、まず、コンピューター画面上の病巣をＲＯＩで囲み、病巣の大きさや形態により最適なコリメーターを選択します。次いで、辺縁や中心部へ照射する線量、視神経などへの許容線量などを入力し、線量分布、治療計画を作成させます。

治療計画作成には
１）主に球形の腫瘍の治療に対して行うSingle Center Planning（ｐ8） と
２）不整形の腫瘍の治療に対して行うConformal Shape Planning（ｐ9） がある。

また、治療計画作成のためには治療線量を決定する必要があるが、その際それぞれの治療計画の間で線量を比較するための基準として辺縁線量（ｐ10）がよく用いられる。

なお、この治療計画作成プログラムでは微妙な線量の調整が可能となっており、納得行くまで何度でも修正可能である。治療計画作成には通常３０分～１時間程度必要である。

治療計画作成・保存後は、この計画に基づき、フィルムを用いて治療計画の検証を行うプログラムが用意されている。腫瘍の位置や形状が通常と異なる場合には出来るだけ検証を心がけている。

治療計画作成・保存後は、コンピューターが治療計画に基づいてロボットアームやLinacを制御し、治療する。ビーム照射の前には頭部の頭蓋骨撮影を行い、位置確認・補正をおこなっている。

2 低侵襲的技術

従来の定位放射線照射装置では、定位の手段として侵襲的フレームが必要ですが、CyberKnifeIIは頭蓋骨を定位の指標として使用します。CT データとX線透視モニター像を即座に比較することにより、侵襲的なフレームに頼らない定位照射を可能にしました。（図３） 頭蓋骨の薄い小児では侵襲的フレームの装着が困難であり、従来の方法では治療が出来ませんでしたが、サイバーナイフは小児例にも適応可能で、13ケ月の幼児の治療も行われた例があります。治療中は病変位置の移動が検知された場合には即時にターゲットが修正され治療されますが、10mmまたは１度を越えた動きに対しては安全のため治療が一時中断される仕組みになっています。

（図 3）熱可塑性プラスチックで出来たネット状の固定具（Uni-Frame™）で頭部顔面を固定します。患者様の頭部顔面の形状に合ったマスクを短時間で作成出来、患者様に侵襲の少ない治療が出来ます。

3 時間的自由度

一回照射（Stereotactic Radio Surgery SRS）、分割照射（Stereotactic Radio Therapy SRT）どちらにも容易に対応できます。侵襲が少ないので、外来での治療も可能です。直径が3cmを越す病変、脳幹部近傍や視神経近傍など重要臓器近傍の病変等に対しては積極的に分割照射を採用しています。

4 空間的自由度

従来のFramebased Stereotactic Radio Surgery（ガンマナイフ、X ナイフなど）では治療対象が頭蓋内に限られていましたが、CyberKnifeは耳鼻咽喉科、口腔外科領域、頸椎・頚髄病変に対しても治療可能になりました。国内では頭頚部に治療領域が限定されていますが、諸外国では放射線治療適応のある疾患であれば全身どの部であっても治療して良いことになっています。日本でも頭頚部以外に対しても治療できるよう手続中です。

CyberKnifeは100カ所の点（Node）より各々12方向へ放射線を照射出来ます。最大1200方向を利用できるため、3次元照射が可能です。複雑な形状の病変に対しても均一な線量分布が得られ、病巣の形状・数に応じて適切な治療を行うことが出来ます。また健常組織への過度の被曝や病巣への過少照射をも避けることが出来ます。

5 CyberKnifeの適応症例

CyberKnifeはリニアックを用いた定位放射線治療装置でり、頭蓋内腫瘍、脳動静脈奇形および頚部腫瘍の治療が可能です。頚部腫瘍には、耳鼻咽喉科・口腔外科領域の疾患が含まれます。頚椎腫瘍などに対しても放射線治療が可能です。

また、低侵襲的に高精度定位放射線治療を繰り返し行うことが可能であり、分割照射を行うことで、比較的安全に直径3cm以上の脳腫瘍をも治療することができます。

三叉神経痛に対する定位放射線治療で良好な治療成績がたくさん 報告されていますが、健康保険では適応外となっています。

今後高度先進医療などにて治療実績をアピールすることが必要と思われます。

6 治療と模擬照射（正確度の検証）

治療計画装置にて作成した治療計画に基づいて、 Phantomに模擬照射を行い実際の治療での放射線量や分布・位置を検証するシステムを持っています。Phantomには、放射線照射にて黒化するGAF chromic filmを装填します。フィルムの黒化度により線量を計算することが出来ますし、その重心やパターンを計測することにより照射位置や形状もわかるような仕組みが作られています。岡山旭東病院での実測誤差は平均約1mmで、定位放射線治療の基準（ 2mm以下）を満たしています。

7 治療の実際

治療計画

熱可塑性のプラスチックで出来たユニフレーム®を使用して簡易な頭部固定用マスクを作成します。ついで、ユニフレーム®着用下でＣＴの検査をします。必要な場合にはＭＲＩ検査を追加することもあります。画像検査を元に治療担当医が治療計画を作成します。

治療当日

患者様にCT撮影の時と同様に治療台の上に寝てユニフレーム®を着けていただきます。ロボットは患者様より約40cmの距離をおいてゆっくりと移動します。治療中には何度も病変の位置　（実際には頭蓋骨の位置）　を認識し、動きを検出すれば動きの分だけ座標を修正して照射します。これを50-150回程度繰り返します。治療時間は普通30分から1時間程度です。　治療中には痛みも熱感もありません。

8 今後の発展性

サイバーナイフは、現時点では、保険適応疾患が頭頚部の腫瘍と脳動静脈奇形に限定されていますが、諸外国ではすでに体幹部の治療も多数行われています。

体幹部に於いては、臓器の位置をレントゲンでモニターするために金属マーカーが必要となる。この為、体幹部の治療に於いては腫瘍内又はその近傍に金やステンレスのマーカーを挿入し、それをX線でモニターすることで、治療が行われている。

また、呼吸や心拍により臓器が移動することも問題であり、特に呼吸性移動が顕著に見られる肺癌に対しては動体追跡照射も試みられている。

動体追跡法を簡単に説明すると、まず金属マーカーの移動と患者様の胸腹壁に貼り付けた赤外線マーカー(LED)の動きの関係を相関関数として測定する。ついで、実際の治療では、LEDの移動を赤外線カメラで認識し、それに同期してロボットを動かしながら移動中にも照射する。

9 まとめ

サイバーナイフは高精度ロボット、超軽量リニアック、病変認識・追尾装置、コンピューター治療計画装置等の総合システムです。非侵襲的に高度な放射線治療を行うことが出来ます。頭頚部の腫瘍と脳動静脈奇形の治療が健康保険適応であり、その治療費は６３万円で、CTやMRIなどの検査代も含まれています。

体幹部の定位放射線治療については適応申請準備中です（２００４年４月３０日）。

文　献

1) Adler JR, Hancock SL: The Neurotron 1000：A system for frameless stereotactic radiosurgery. Perspectives in Neurological Surgery 5 :127-133, 1994

2) Chang SD, Murphy M, Adler JR et al.: Clinical experience with image-guided robotic radiosurgery (the Cyberknife) in the treatment of brain and spinal cord tumors. Neurol Med Chir 38(11): 780-3. 1998

3) Adler JR, Chang SD, Murphy MJ et al.: The Cyberknife: a frameless robotic system for radiosurgery. Stereotact Funct Neurosurg;69:124-8. 1997

4) Kai, J., Shiomi, H., Inoue, T. et al. : A 3D optical head motion measurement system and its application in stereotactic radiosurgery. Medical Imaging Technology, 17(2): 155-164,1999

5) 塩見浩也、井上武宏、 井上俊彦 他: 大阪大学におけるCyberKnifeの初期使用経験について. 定位的放射線治療.3: 89-95, 1999.

6) Shiomi, H., Inoue, Ta., Inoue, To. et al.: Quality assurance for an image-guided frameless radiosurgery system using radiochromic film. Radiat. Med. 18(2): 107-113, 2000

7) Murphy MJ, Adler Jr JR, Bodduluri M et al: Image-guided radiosurgery for the spine and pancreas. Comput Aided Surg. 5(4):278-88. 2000

8) Schweikard A, Glosser G, Bodduluri M et al.: Robotic motion compensation for respiratory movement during radiosurgery. Comput Aided Surg;5(4):263-77. 2000

9)塩見浩之、井上武彦、中村聡明　他: CyberKnife 医学物理 21(1):11-15, 2001

Key word

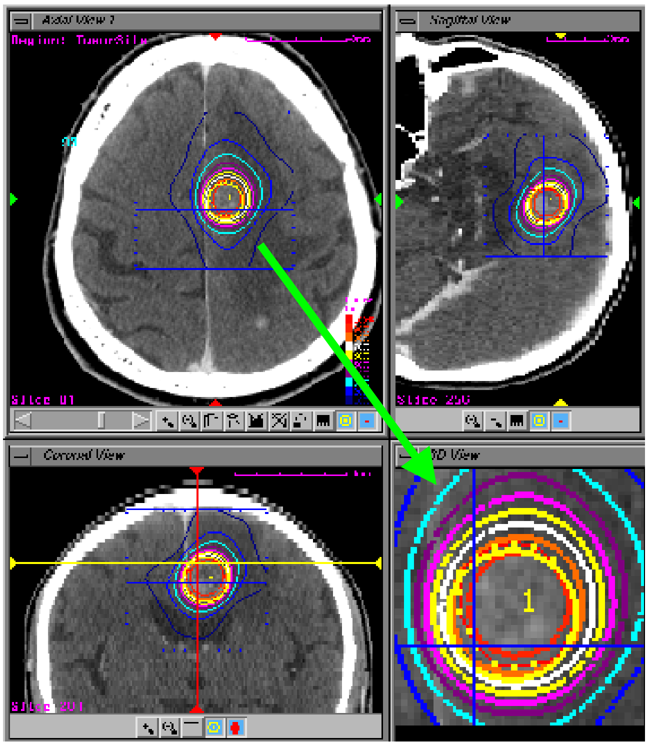
Stereotactic Radiotherapy, Robotic, CyberKnife, Tracking

Single Center Planning

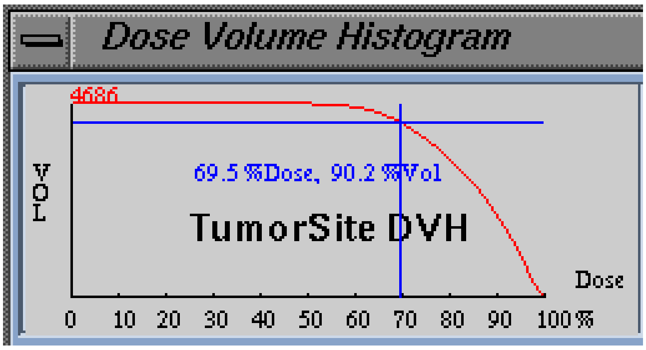
Single Center Planning では、約100本のビームを使用する。その立体分布はほぼ球状になるので、球状の病巣に対して本法を適応するのが良い。

◎利点として
1）放射線を病巣に集中さすことが可能
2）辺縁がシャープである
3）病巣周囲への照射が少ない
4）治療時間が短い

◎注意を要する点として
1）1mmの位置誤差（ずれ）が数グレイの誤差を引き起こす可能性がある
2）辺縁線量と比較して最小線量が低めになる傾向がある
3）最大線量が高くなる



Single Center Planningにて治療計画を作成した1例を提示する。右下はAxial image を拡大したものである。



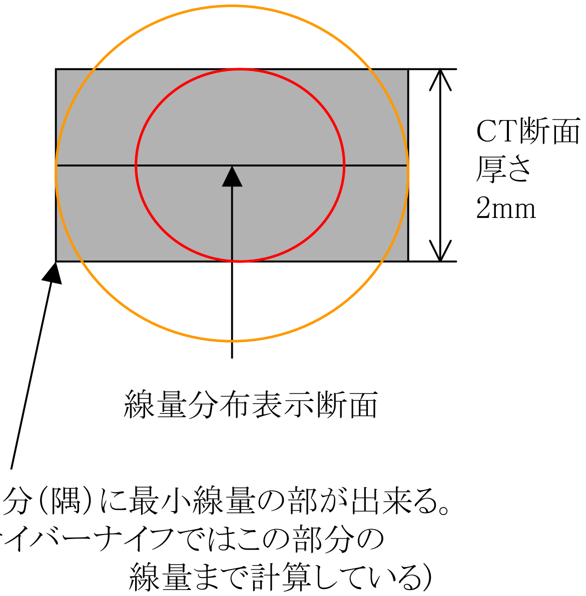
本例（左下治療計画例）のDVH （Dose Volume Histogram ）である。
腫瘍の体積（ROIで囲んだ部分の体積）が4686mm^3 であり、90.2％Vol において69.5％Doseであることがこの図より読み取れる。
辺縁線量23Gyを目標としたとき、23÷0.695＝33.1となるので、最大線量33.1Gyとなるように治療計画を作成する。

腫瘍線量

Max.	Min.
3313.07	1340.18

本症例では最小線量が13.4Gyになった。

サイバーナイフでは線量分布図はCTスライスの中央部分での線量分布になっているが、上端や下端の断面でも線量の計算を行っており、画像で見るよりも低目の最小線量を示す場合が多い。（下図）



Conformal Planning

Conformal Planning では、約100個所のノードよりそれぞれ12方向にビームを出すことが出来る。すなわち最大で1200本のビームを使用することが可能であるが、ビームの数を増やすとそれに比例して治療時間が長くなる。ビーム数に比例して線量分布は良くなるものの、本数が増えると次第にPlateauになる。このことより、現実的には50本～100本程度のビームにて治療するパターンが多い。

球型以外の不整形の病巣にたいしてはConformal Planningで治療をおこなう。

◎利点として

1）放射線を病巣に均等に分布さすことが可能

2）Hot Spot、Cold Spotが出来にくい

3）最大線量と辺縁線量の差を減少することが出来る

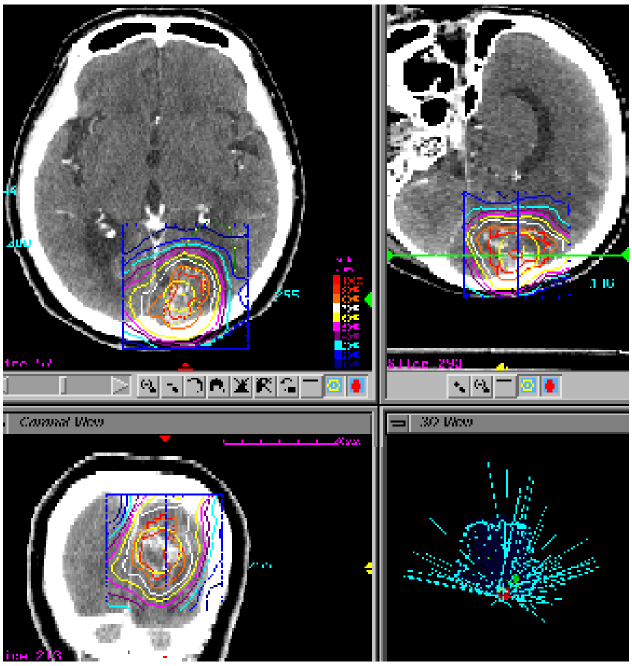
4）照射位置がずれても線量誤差が少ない

◎注意を要する点として

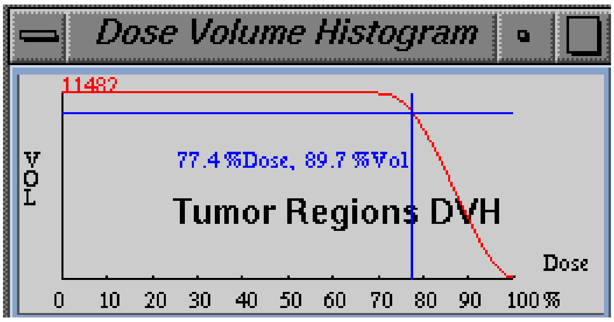
1）周辺の線量カーブが緩やかである。

2）周囲組織への被曝が増加する

3）治療時間が長くなる。



Conformal Planningの1例



当院ではMarginal Doseを腫瘍体積の約90%領域での線量と定義しています。
辺縁線量を23Gyに設定するには、
最大線量は　23÷0.774=29.7（Gy）
23Gy以上の体積は　11482x0.897=10299mm³
最小線量は20.5Gyになった。

辺縁線量の定義

Marginal Dose（ 辺縁線量 ）を通常、腫瘍体積の約90%に照射される最低線量と定義します。

治療計画作成上、PTV(planning target volume)、CTV(clinical target volume)、GTV(gross tumor volume)と分けて検討することもあるが、定位放射線治療においてはこれらを同等に扱うことが多い。

治療効果を比較する場合に、治療計画での辺縁線量が比較の基準となる場合が多い。サイバーナイフでは腫瘍体積の約90%に照射される最低線量を辺縁線量と定義してきた。最近はリニアックを用いた定位放射線治療にて腫瘍体積の約95%に照射される最低線量を辺縁線量としして採用する施設が増えており今後検討を要すと考えている。

例題:

DVHが右上図（図6）に示す如くであるとする。すなわち、体積（左上の赤い文字）は11482mm^{3}であり、腫瘍体積の89.7%（89.7% Vol）にてその線量は最大線量の77.4%（77.4%Dose）であることを示している。

腫瘍辺縁に23Gy（Marginal Dose 23Gy）の照射を行いたい場合には、 23÷0.774 =29.7であり、最大線量29.7Gyの治療計画を作成すればよいことになる。このとき 23Gy以上の体積は11482x0.897 = 10299mm^3 となり、腫瘍の約10%では23Gy未満の照射となる。本例では、最小線量は20.5Gyであった。 最小線量はDVHグラフからは判定できないが、Dose Statistics の表（表6）のTumor Site, Min. から読み取ることが出来る。

図7は治療計画線量分布図の一例である。

他の放射線治療についても共通して言えることであるが、辺縁線量と最低線量は同じではない点に注意が必要である。治療計画作成時に、腫瘍体積内における最低線量を辺縁線量に近づける（100%Volに近づける）ほど治療効果は上がるが、周辺への照射・副作用も増加する。

治療効果を辺縁線量のみで評価することは出来ないが、辺縁線量は治療効果比較の上で重要な因子である。

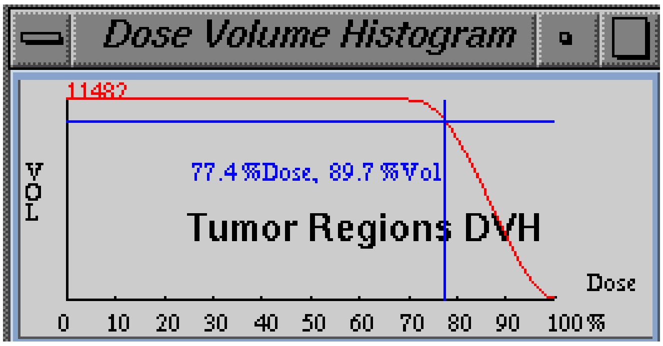


図6 DVH

Region	Max.	Min.
TumorSite	2971.58	2050.29
Soft Tissue	2694.88	33.00
Left Eye	150.12	15.93
Right Eye	156.80	48.92

表6 Dose Statistics

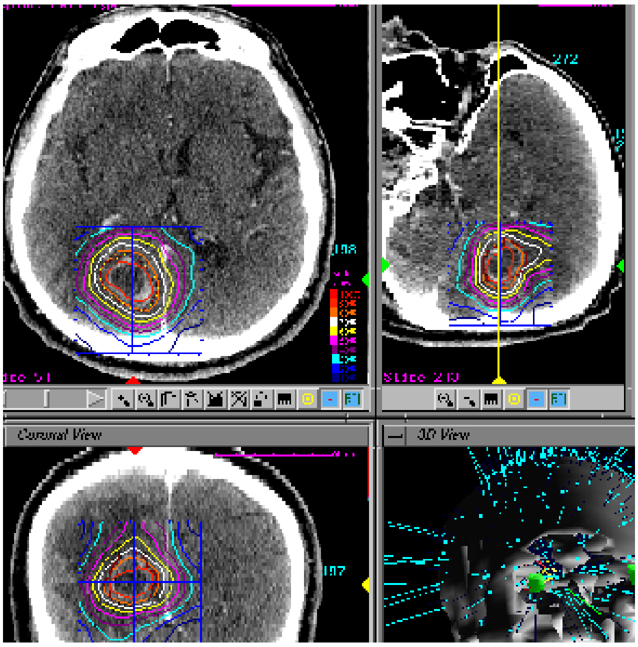


図7 Dose distribution

岡山旭東病院における治療症例

岡山旭東病院では、2000年6月1日に治療を開始した。治療開始から 2002年12月まで約2年半に治療した症例数は832件であり、患者総数は697人であった。

その内訳は右表および下図に示す如くである。

頭蓋内疾患719例のうち407例(57%)が転移性脳腫瘍の症例であった。

つぎに多いのが髄膜腫の59例であったが、神経膠腫と神経膠芽腫をあわせると、72例となり髄膜腫より多かった。

複数回治療した患者様は、 4回治療した人が5人 3回19人 2回72人 であった。

頭蓋外疾患は耳鼻咽喉科や口腔外科などの疾患が多かった。これらの疾患に対しては定位治療の治療実績が乏しいことより、放射線治療(外照射)後の再発例や外照射の適応にならない症例などが治療の主体であったにもかかわらず腫瘍が長期間コントロールできている例がある。

体幹部は5例と少数ではあるが、治療をおこなった。今回は呼吸性移動の少ない部位に限定して治療した。レントゲン透視下で微小金マーカーを刺入し、Vac-Lok (Toyo Medic社製)にて体幹を固定して治療した。

転移性脳腫瘍	407
髄膜腫	59
神経膠腫	42
動静脈奇形	39
聴神経腫瘍	37
神経膠芽腫	30
悪性リンパ腫	22
下垂体腺腫	17
他の神経鞘腫	16
硬膜動静脈瘻	14
頭蓋咽頭腫	12
三叉神経痛	5
胚芽腫	4
血管芽腫	4
その他	11
頭蓋内小計	**719**
頭蓋外	108
体幹部	5
総計	**832**

表1:治療症例一覧

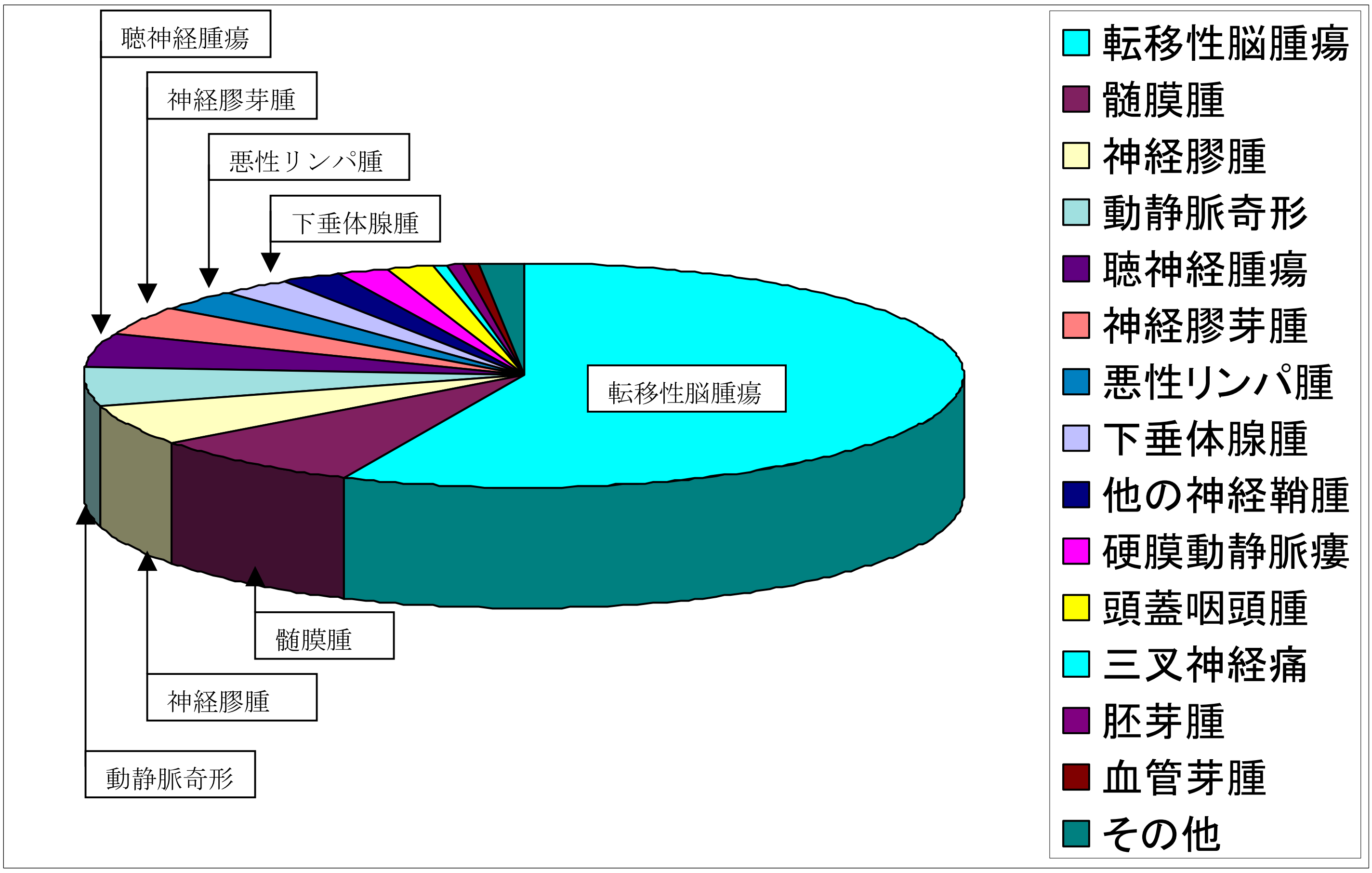


図1: 頭蓋内疾患719症例の一覧

岡山旭東病院における学会・誌上発表一覧

学会発表等 一 覧 2003年

学会名	演題名	所属	発表者	日付
第46回　日本放射線学会近畿部会	最新鋭ロボットリニアック　-サイバーナイフ-	放射線課	井上光広	2月2日
第13回間脳下垂体腫瘍学会	下垂体、下垂体近傍腫瘍治療におけるサイバーナイフの視路への影響	脳神経外科	佐藤健吾	2月4日-5日
日本放射線技術学会第60回総合学術大会	CyberKnifeによる照射位置誤差の要因となる座標系誤差の検出	放射線課	井上光広	4月11日-13日
6th International Stereotactic Radiosurgery Society Congress	The accuracy of dose delivery of the cyberknife	放射線課	井上光広	6月22日-26日
6th International Stereotactic Radiosurgery Society Congress	Visual impairment following Cyber Knife treatment for sellar and parasellar tumors	脳神経外科	佐藤健吾	6月23日-26日
第62回日本脳神経外科総会	Gliomaに対する定位放射線治療 —CyberKnifeとMRSを用いて—	脳神経外科	佐藤健吾	10月2日-4日
オニビジョン収録	サイバーナイフによる放射線治療	脳神経外科	馬場義美	11月12日
日本放射線腫瘍学会	照射位置精度の評価法	放射線課	井上光広	11月21日-23日
89th Scientific Assembly and Annual Meeting in RSNA	The accuracy of dose delivery of the cyberknife	放射線課	井上光広	11月30日-12月6日
日本放射線腫瘍治療学会第16回学術大会	神経膠細胞種の定位放射線治療におけるMRSの有用性	脳神経外科	佐藤健吾	12月22日-24日

誌上発表　2003年

サイバーナイフの治療　-ロボット誘導型定位放射線治療装置-	脳神経外科　佐藤健吾　看護技術(メディカルフレンド社)　49(1)　p4-8　2003年
下垂体、下垂体近傍腫瘍治療におけるCyberKnifeの視路への影響	脳神経外科　佐藤健吾　日本内分泌学会雑誌　79巻増刊号　2003年
頭頸部再発癌に対しCyberKnifeを用いた再照射の初期治療経験	岡大　放射線科　姫井健吾　日放腫会誌　15　139-144　2003年
CyberKnifeの照射精度	放射線課　井上光広　日放腫会誌　15　177-185　2003年

学会発表等 一 覧 2002年

学会名	演題名	所属	発表者	日付
第12回日本間脳下垂体腫瘍学会	非機能性巨大下垂体腺腫に対するCyberKnife治療	脳神経外科	佐藤健吾	5月6日
日本放射線医学放射線学会	転移性脳腫瘍に対するサイバーナイフを用いた分割定位放射線治療	岡山大学放射線科	姫井健吾	4月4日
日本放射線技術学会総会	サイバーナイフの線量及び線量分布の評価	放射線課	井上光広	4月6日
第11回　日本聴神経研究会	聴神経腫瘍に対するサイバーナイフ治療	脳神経外科	佐藤健吾	6月1日
頭頸部腫瘍学会	進行舌癌に対するCyberKnife初期治療経験の1例	岡山大学放射線科	姫井健吾	6月15日
日本病院学会	当院におけるサイバーナイフの精度管理について	放射線課	大森理江	6月20日-21日
日本病院学会	サイバーナイフにおけるクリティカルパスの導入 --看護実践にもたらした効果--	看護部	広田和美	6月20日-21日
済生会今治病院サイバーナイフ設立記念講演会	頭頸部病変に対するCyberKnife治療	脳神経外科	佐藤健吾	7月20日
第14回岡山旭東病院病診連携カンファレンス	全身対応のサイバーナイフ治療	脳神経外科	佐藤健吾	7月24日
第6回日本体幹部定位放射線照射研究会	The accuracy of body treatment with cyberknife	放射線課	井上光広	7月26日
第11回日本定位放射線治療学会	CyberKnife治療、二年間の経験と今後の展望	脳神経外科	佐藤健吾	7月27日
第11回日本定位放射線治療学会	サイバーナイフにおける6D tracking system の精度について	放射線課	大森理江	7月27日
日本放射線技術学会　中四43回	「ロボットを用いた定位放射線治療」（シンポジウム）	放射線課	井上光広	9月21日
日本放射線技術学会　中四43回	CyberKnifeの金マーカーを用いた際の照射位置精度	放射線課	井上光広	9月21日
日本放射線技術学会　中四43回	6D tracking system の精度について	放射線課	大森理江	9月21日
第8回岡山放射線腫瘍学カンファレンス	「CyberKnifeの照射精度について」	放射線課	井上光広	9月28日
第61回日本脳神経外科学会総会	神経膠腫に対するCyberKnife治療	脳神経外科	佐藤健吾	10月4日
平成14年度全国放射線技師総合学術大会	「Filmを用いたCyberKnifeの精度評価　—線量及び線量分布—」	放射線課	井上光広	10月11日-13日
日本放射線技術学会　第30回秋季学術大会	「CyberKnifeの体幹部治療の精度について」	放射線課	井上光広	10月17日-19日
Brain Edema 2002	Radiation necrosis and brain edema assciated with CyberKnife treatment	脳神経外科	佐藤健吾	11月13日
2nd International CyberKnife user's Meeting	CyberKnife radiosurgery of Glioblastoma multiforme and QA	脳神経外科	馬場義美	11月15日
第15回日本放射線腫瘍学会学術大会	頭頸部再発腫瘍に対するCyberKnife治療の検討	岡山大学　放射線科	姫井健吾	11月22日
第15回日本放射線腫瘍学会	「体幹部領域に対するCyberKnife治療の精度について」	放射線課	井上光広	11月21日-23日
第15回日本放射線腫瘍学会学術大会	神経膠腫に対するCyberKnife治療	脳神経外科	佐藤健吾	11月22日
岡山大学脳神経外科同門会	CyberKnife治療に伴うradiation necrosis	脳神経外科	佐藤健吾	11月23日

誌上発表　2002年

頭頸部腫瘍に対するサイバーナイフ治療の初期経験	岡山大学　放射線科　姫井健吾　頭頸部腫瘍 28 (1) 186－191　2002
CyberKnife の照射位置精度についての基礎的研究	放射線課　井上　光広　日本放射線技術会雑誌　2002年6月　584(50)　～　591(57)

学会発表等 一 覧 2001年

学会名	演題名	所属	発表者	日付	場所
第19回岡山癌治療研究会	頭頸部腫瘍に対するCyberKnife治療の初期経験	岡山大学放射線科	姫井健吾	1月19日	岡山
第11回間脳下垂体腫瘍学会	頭蓋咽頭腫に対するCyberKnife治療	脳神経外科	佐藤健吾	1月23日	湯沢
The 4th Japanese Body Stereotactic Irradiation Meeting	CyberKnife Treatment for Cervical Lesion	Kyokuto Hospital	Kengo Sato	2月6日	東京
浜松医科大学脳神経外科研究会	頭蓋外頭蓋底腫瘍に対するCyberKnife治療	脳神経外科	佐藤健吾	3月11日	浜松
日本放射線技術学会 第57回総会学術大会	照射位置精度サイバーナイフシステムにおけるGAF-Filmを用いた照射位置精度の評価法についての基礎的検討	放射線課	井上光広	4月7日	神戸
2001 Accuray CyberKnife User's Meeting	CyberKnife Experience at Okayama Kyokuto Hospital	Kyokuto Hospital	Kengo Sato	4月6日	Carmel
サイバーナイフ 第1回ユーザーズミーティング	サイバーナイフシステムにおける 照射位置精度の測定法ついての基礎的検討	放射線課	井上光広	5月19日	大阪
サイバーナイフ 第1回ユーザーズミーティング	サイバーナイフシステムにおける 臨床治療例提示と装置改善要求等	脳神経外科	佐藤健吾	5月19日	大阪
第10回日本聴神経腫瘍研究会	聴神経腫瘍に対するCyberKnife治療	脳神経外科	佐藤健吾	6月2日	東京
日本病院学会	サイバーナイフ治療における データ管理とその現況	医療秘書課	小林 愛	6月21日-23日	福岡
日本病院学会	サイバーナイフの導入について	放射線課	大森理江	6月21日-23日	福岡
25回日本頭頸部腫瘍学会	頭頸部腫瘍に対するCyberKnife治療の初期経験	岡山大学放射線科	姫井健吾	6月21日	札幌
第4回日本病院脳神経外科学会	サイバーナイフの精度について	放射線課	井上光広	7月21日	福山
第4回日本病院脳神経外科学会	サイバーナイフ治療に於ける 看護婦の役割とその実際	看護部	広田和美	7月21日	福山
第4回日本病院脳神経外科学会	サイバーナイフ治療 - 10ヶ月の経験 -	脳神経外科	馬場義美	7月21日	福山
第10回日本定位的放射線治療研究会	サイバーナイフの下位頸椎治療における精度	放射線課	井上光広	8月4日	横浜市
第10回日本定位的放射線治療研究会	頭頸部扁平上皮癌に対するサイバーナイフ治療の初期経験	岡山大学放射線科	姫井健吾	8月4日	横浜市
第10回日本定位的放射線治療研究会	聴神経腫瘍に対するCyberKnife治療	脳神経外科	佐藤健吾	8月4日	横浜市
第96回日本医学放射線学会中国・四国地方会	聴神経鞘腫に対するサイバーナイフ治療の初期経験	岡山大学医学部放射線科	姫井健吾他	6月15日	山口県宇部市
第15回 中国四国脳腫瘍研究会	Olfactory Neuroblastomaの一例	脳神経外科	佐藤健吾	8月31日	徳島
日本放射線技術学会中国四国第42回学術大会	Gafchromic Film を用いたサイバーナイフシステムにおける線量及び線量分布の評価	放射線課	井上光広	9月23日-24日	高知市
福山 如月会例会	サイバーナイフによる定位的放射線治療について	脳神経外科	馬場義美	9月21日	福山市
日本放射線技術学会中国四国第42回学術大会	治療計画に用いる診断用CTの機械的誤差の評価	放射線課	大森理江	9月23日-24日	高知市
Congress of Neurological Surgeons , Accuray Booth	CyberKnife treatment of skull base tumors	脳神経外科	Kengo Sato	10月2日	San Diego , California
平成13年度全国放射線技師総合学術大会	サイバーナイフの使用経験 ー精度についてー	放射線課	井上光広	10月5日-7日	倉敷市
川崎医療短大 学生講義	サイバーナイフについて	脳神経外科	馬場義美	10月12日	倉敷市
宮崎県都城市市民医学講座	シリコンバレー生まれの新しい放射線治療器	脳神経外科	佐藤健吾	10月12日	宮崎県都城市
岡山市医師会医学会	サイバーナイフの治療経験	脳神経外科	馬場義美	10月13日	岡山市
脳神経外科学会	頭蓋外頭蓋底腫瘍に対するサイバーナイフ治療	脳神経外科	佐藤健吾	10月24日	岡山市
香川神経カンファレンス	サイバーナイフについて	脳神経外科	馬場義美	11月16日	高松市
日本放射線腫瘍学会	聴神経腫瘍に対するCyberKnife治療	岡山大学放射線科	姫井健吾	11月23日	大阪
日本放射線腫瘍学会	転移性脳腫瘍に対するCyberKnife治療	脳神経外科	佐藤健吾	11月23日	大阪
日本放射線腫瘍学会	CyberKnifeにおける線量と線量分布の検討	放射線課	井上光広	11月23日	大阪
日本放射線学会中国四国地方会	進行舌癌に対するサイバーナイフ治療経験	岡山大学放射線科	姫井健吾	12月7日	広島市

誌上発表 2001年

サイバーナイフの現況 佐藤健吾 月刊新医療 2001年12月号76ページから82ページまで
サイバーナイフ 馬場義美 月刊Mebio Vol_19 No1(2002年1月号)48ページから53ページまで

学会発表等 一 覧 2000年

学会名	演題名	所属	発表者	日付	場所
第14回中国四国脳腫瘍研究会	脳腫瘍に対するCyberKnife治療	脳神経外科	佐藤健吾	9月8日	広島
第2回中国四国脳卒中研究会	脳動静脈奇形に対するCyberKnife治療	脳神経外科	佐藤健吾	9月9日	広島
第3回岡山放射線腫瘍学カンファランス	CyberKnifeの治療経験	岡山大学放射線科	姫井健吾	9月9日	岡山
第13回日本放射線腫瘍学会	脳腫瘍に対するCyberKnife治療	脳神経外科	佐藤健吾	11月11日	新潟
第13回日本放射線腫瘍学会	サイバーナイフの初期治療における精度について	放射線課	井上光広	11月11日	新潟
サイバーナイフ説明会(於:エバルス)	サイバーナイフとは(岡山県のMRの方々に説明)	脳神経外科	馬場義美	11月17日	岡山
岡山大学脳神経外科研究会	サイバーナイフの紹介	脳神経外科	馬場義美	11月25日	岡山

平成１５年２月７日

悪性脳腫瘍用の放射線治療装置サイバーナイフの輸入販売状況等の調査に関する報告命令について

1 概要

メディテック株式会社が輸入承認を取得している悪性脳腫瘍の放射線治療装置サイバーナイフに対して、同機器の輸入販売状況等を確認する必要があるため、薬事法第69条第3項の規定による報告命令を別添のとおり発出した。同製品については、東京都の調査の結果、平成8年11月に承認を取得して以降、承認内容と機能、性能、仕様等が異なる製品(10機種)を輸入販売等していたことが判明しているが、承認との相違を正確に把握する必要があるため、今般、報告命令を発出するに至ったものである。

なお、サイバーナイフ自体については、現在、メディテック株式会社が納入先医療機関に対して、自主回収(使用中止の要請)を実施しているところである。

(参考) メディテック株式会社の悪性脳腫瘍用放射線治療装置の承認状況等
・販売名：サイバーナイフ
・承認年月日：平成８年１１月１５日
・承認番号：20800BZY00937000

2 報告命令の主な内容
(1) 輸入・販売等の実績
(2) 承認内容との相違点
(3) 安全性評価の状況
(4) 自主回収(使用中止の要請)の実施方法等

3 提出期限
平成15年2月21日(金)

(照会先)
監視指導・麻薬対策課
木下(内線2763)
広瀬(内線2769)

別添
厚生労働省発医薬第0207027号
命令書
メディテック株式会社
代表取締役 田辺 哲也
東京都千代田区九段南2－3－14 靖国九段南ビル

薬事法(昭和35年法律第145号)第69条第3項の規定により、別紙の事項について平成15年2月21日までに当職あて報告することを命ずる。

なお、本命令に基づく報告をせず、又は虚偽の報告をした場合は、同法第87条第1項第7号の規定により罰金に処せられることがある。

また、本命令に基づく報告については、公表する可能性があることを申し添える。

理由
平成8年11月に貴社が承認を取得した医用リニアアクセラレータ(販売名 サイバーナイフ)について、輸入販売状況等の実態を正確に把握する必要があるため。

平成15年2月7日
厚生労働大臣 坂口 力

別紙

1 輸入・販売等の実績関係

(1) 平成１４年１２月１３日付けで東京都に提出している回収開始の報告書によると、平成９年８月６日から平成１４年１１月２９日に至るまでの間、承認を受けた「サイバーナイフ」（承認番号：20800BZY00937000、承認年月日：平成８年１１月１５日）と称して実際にはその承認内容と異なる製品を２１台輸入し、そのうち１０台を出荷したとのことであるが、現在までに「サイバーナイフ」又はその関連製品（構成品、ソフトウェア等を含む。）と称して輸入した製品の輸入実績（時期及び数量等）及び販売・賃貸・授与等の実績（時期及び数量等）をすべて調査し、結果を製品の種類毎（型式・バージョン等が異なるものについては、各型式・バージョン等毎）に報告すること。

(2) (1)において報告を指示したすべての製品について、納品先医療機関に対して行った製品の概要及び操作方法・取扱方法等に関する説明の内容（疾患毎の治療手技に関する説明を含む。）を調査し、結果を報告すること。

(3) (1)において報告を指示したすべての製品について、承認外の治療目的が可能な旨を医療機関等へ広告宣伝する等の不適切な販売促進活動を行ったことがあるか否かについてその実態を調査し、結果を報告すること。

2 承認内容との相違点等関係

(1) １の(1)において実際に輸入等を行っていたすべての製品について、製品毎に、承認を受けた「サイバーナイフ」との相違点（臨床上の適応範囲を含む。）をすべて調査し、その結果を製品の種類毎（型式・バージョン等が異なるものについては、各型式・バージョン等毎）に報告すること。

(2)承認を受けた「サイバーナイフ」について、いつの時点で承認内容のとおりの製品が製造元において生産されていない（又は供給できない）ことを承知したのか調査し、結果を報告すること。

(3)承認を受けた「サイバーナイフ」と称して、実際にはその承認内容と異なる製品（構成品、ソフトウェア等を含む。）を輸入し、販売・賃貸・授与等するに至った経緯をすべて調査し、結果を報告すること。

(4)医療機関に納品した製品について、納品後、適応拡大のためのソフトウェア等を組込む行為を行ったことがあるか否か、また、行ったことがある場合には、どのような内容のソフトウェア等であったかについて調査し、結果を報告すること。

(5)承認を受けた「サイバーナイフ」及び承認を受けた「サイバーナイフ」 と称していたが実際にはその承認内容と異なる製品であったもののソフトウェアについて、機能、適応等について調査し、結果を製品の種類毎（型式・バージョン等が異なるものについては、各型式・バージョン等毎）に報告すること。

3 安全性評価関係

(1)承認を受けた「サイバーナイフ」と称して輸入及び販売・賃貸・授与等していたが実際にはその承認内容と異なる製品であったもの（構成品、ソフトウェア等を含む。）について、それらの安全性（基礎及び臨床の双方について）の検討経緯をすべて調査し、結果を報告すること。

(2)(1)において報告を指示したすべての製品（構成品、ソフトウェア等を含む。）について、臨床で使用した際の健康被害及び不具合の発生状況並びに納品した医療機関からの苦情状況を調査し、結果を報告すること。

4 自主回収関係

承認を受けた「サイバーナイフ」と称していたが実際にはその承認内容と異なる製品であったものを納品した医療機関に対して、いつから、どのような方法で使用中止を依頼したのか調査し、結果を報告すること。

5 その他

(1)貴社が承認を受けているその他のすべての製品について、承認内容と異なる製品を輸入及び販売・賃貸・授与等を行ったことがあるか否か調査し、結果を報告すること。

(2)(1)の調査の結果、他の製品においても、承認内容と異なる製品が輸入及び販売・賃貸・授与等されていることが判明した場合には、２(1)と同様に、承認内容との相違点（臨床上の適応範囲を含む。）をすべて調査し、その結果を製品の種類毎（型式・バージョン等が異なるものについては、各型式・バージョン等毎）に報告すること。

(3)貴社の承認申請、市販後調査等の実施体制（組織図、構成人数等）について報告すること。

なお、以上の報告を行うに当たっては、その報告内容の根拠となる資料(バリデーション・データ、試験検査記録、研究報告書、会議録、打合せ記録(医療機関側との打合せに関するものを含む。)、訪問等の記録(報告書)、メモ類、輸入記録、販売記録、賃貸記録、授与記録、取扱説明書、マニュアル類(QA(品質保証)関係のものを含む。)等)を添付すること。

平成15年3月28日

メディテック社の放射線治療装置(サイバーナイフ)に対する回収等命令について

1 概要

メディテック社が、平成15年2月7日付け薬事法第69条第3項の規定に基づく報告命令を受けて同月21日に提出した報告書により、同社がこれまで輸入販売した放射線治療装置(製品名:サイバーナイフ)については、薬事法上の承認・許可を受けた「サイバーナイフ」とは異なる製品(無承認・無許可医療用具)であるにも係わらず、輸入販売を行っていた(薬事法第64条において準用する第55条第2項違反)ことが判明したため、薬事法第70条第1項の規定に基づく回収等命令を発出した。

なお、同製品については、現に健康被害が発生しているとの報告は受けていないものの、前述の報告書により、無承認・無許可で輸入販売されていたことに加え、エックス線出力が異常に増大する場合があること、コリメーター(放射線の照射方向を制御するための遮蔽器具)が落下するおそれがあることなど、各医療機関でサイバーナイフの品質、有効性及び安全性に関する多数(合計200件)の不具合(故障)が発生していることが判明している。(関係医療機関に対しては既に情報提供済み(参考資料参照(1～10ページ(PDF:372KB http://www.mhlw.go.jp/houdou/2003/03/dl/h0328-4a.pdf) 11～20 ページ(PDF:399KB http://www.mhlw.go.jp/houdou/2003/03/dl/h0328-4b.pdf) 21～28ページ(PDF:341KB http://www.mhlw.go.jp/houdou/2003/03/dl/h0328-4c.pdf))))

2 対象製品

これまでに輸入販売した下記製品。ただし、これらの製品を納入した医療機関の医師が真にやむを得ない事情があると判断して使用を希望する製品であって、その旨を個別に文書により確認できたものは除く。

・医用リニアアクセラレータ(販売名サイバーナイフ)

3 回収等命令の内容

上記2に掲げる製品を取り扱ったすべての販売業者、医療機関等に対し情報提供を行うとともに、直ちに当該製品のすべての回収又はこれに準ずる措置を開始し、平成15年4月25日までに終了させること。

(照会先)厚生労働省医薬局
監視指導・麻薬対策課 木下(内線2763)

写

厚生労働省発医薬第0328001号

命令書

メディテック株式会社
代表取締役社長 田辺 哲也
東京都千代田区九段南2－3－14 靖国九段南ビル

薬事法(昭和35年法律第145号)第70条第1項の規定に基づき、下記の措置を採ることを命ずる。

なお、本命令に違反した場合は、同法第87条第1項第9号の規定により罰金に処せられることがある。

理 由

平成15年2月7日付けの報告命令書(厚生労働省発医薬第0207027号)に対する同年2月21日付けの回答書により、貴社は、薬事法第64条において準用する第55条第2項の規定に該当する医療用具(同法第23条において準用する第18条第1項の許可を受けていない「サイバーナイフ」と称する放射線治療用の医療用具)を輸入販売していることが確認されたため。

教 示

この処分に不服があるときは、この命令書を受け取った日の翌日から起算して60日以内に、厚生労働大臣に異議申立てをすることができる。

記

1 措置すべき対象の製品

これまでに輸入販売した下記製品。ただし、これらの製品を納入した医療機関の医師が真にやむを得ない事情があると判断して使用を希望する製品であって、その旨を個別に文書により確認できたものは除く。

・医用リニアアクセラレータ
(販売名 サイバーナイフ)

2 採るべき措置の内容

1に掲げる製品を取り扱ったすべての販売業者、医療機関等に対し情報提供を行うとともに、直ちに当該製品のすべてを回収又はこれに準ずる措置を開始し、平成15年4月25日までに終了させること。

平成15年3月28日

厚生労働大臣 坂口 力

サイバーナイフの精度・精度管理

1 はじめに

定位放射線治療は、高い精度にて近接する正常組織の障害を最小限とし、病変部に対し高線量を投与する放射線治療である。CyberKnifeは定位放射線治療専用装置であり、一回あるいは小分割により高線量を病変部に集中させる治療を行うため、不十分な機械的精度などは、時に重篤な結果をもたらし致命的ですらあり得る。そのため、通常の放射線治療装置よりも格段に厳しい機械的精度が要求される。

また、定位放射線治療では 1)位置計測精度、2)機械的精度、 3)正確で最適な線量分布、4)患者の安全対策など主に4つの項目が日常の Quality Assuarance(QA) により保証されなければならない[1)]。現在のところガンマナイフあるいはリニアックによる定位放射線治療に対するQAの指針となるものはAAPM [2)]、日本医学物理学会[1)]などより出されている。

CyberKnifeにおいてはその製造者であるAccurayにより指針となるものが最近になり作成されたが、国内のCyberKnife治療が休止状態だった為、ユーザーの間に未だ浸透していないのが現状である。

ここでは、定位放射線治療装置として必要なCyberKnifeのQA、精度について述べる。まずAccurayが提唱しているQA項目とそれ以外の当院で実施してきたQA項目を示し、最後にCyberKnifeの精度について提示する。

2 CyberKnifeのQA

以下にAccurayの推奨するQA項目とその頻度を示す。

Daily:

1) System Status Check
2) Linac Output Constancy Check
3) Safety Interlock Check

Monthly:

4) Beam Parameters Check
5) Robot Mastering Check (visual)
6) Visual Targeting Check
7) Imaging Alignment
8) Beam Energy (TPR 20 10 or PDD 20 10)
9) Film Phantom Targeting Test (or 2 month interval)

Quarterly:

10) Target Locating System Tracking Test (or after significant change due to maintenance or repair).
11) Linac Laser Mechanical alignment check (Accuray PM procedure)
12) Linac Laser/Radiation Field alignment check (Accuray PM procedure)

Annually:

13) Beam Commissioning Spot Checks
14) Treatment Planning System Tests
15) Beam Calibration Check
16) Safety Systems Tests
17) Robot Mastering (electronic)
18) Couch Indexing Accuracy

毎日のQA

1) System Status Check:リニアックに関するパラメータのチェック。

2) Linac Output Constancy Check:モニター線量計の校正。CyberKnifeのモニター線量計は非密封型のイオンチェンバーを使用しているため、その日の気温・気圧の影響を受ける。そのため毎日、線量計の校正を行う必要がある。

3) Safety Interlock Check:安全インタロックのチェック(ドアインタロックや緊急停止ボタンなど)。

毎月のQA

4) Beam Parameters Check:ビームの分布特性のチェック(ビームの対象性、平坦度、半影)。

5) Robot Mastering Check (visual):ロボットの座標系に変化がない事を目視で確認。

6) Visual Targeting Check:全てのサブシステム(CT、治療計画装置、位置認識システム、ロボット、リニアック)の精度を目視によりチェック。ファントムに直径約2mmのビーズをつけ、治療同様にCT撮影を行い、全てのビームがビーズの中心を狙う照射計画をたてる。このファントムを治療同様にセットアップし治療同様にロボットを動かす。この時、リニアックからX線の中心軸に一致したレーザーを出し、これがビーズの中心を狙うかどうかを目視により確認する。これは、BBテストと呼ばれるもので、X線の変わりにレーザーで狙わせる事以外は通常の治療と同じ過程で行われる。

7) Imaging Alignment:位置認識用イメージシステムの幾何学的アライメントのチェック。
8) Beam Energy (TPR 20 10 or PDD 20 10): TPR20,10あるいはPDD20,10によるエネルギー変動のチェック。
9) Film Phantom Targeting Test :このテストは"End to End test"と呼ばれるもので、CT撮影、治療計画装置、位置認識システム、ロボット、リニアックなど全てを含んだ幾何学的照射精度を評価するもので、この後の精度について述べた部分で詳細な方法は説明する。

四半期ごとのQA

10) Target Locating System Tracking Test:位置認識システムの精度チェック。ファントムを幾つかの異なる位置に移動し、そのときの位置認識システムの認識位置を観察する。
11) Linac Laser Mechanical alignment check:リニアックからのX線の中心軸に一致したレーザーの機械的なアライメントチェック。
12) Linac Laser/Radiation Field alignment check:リニアックからのX線中心軸とレーザーの一致度のチェック。

1年毎のQA

13) Beam Commissioning Spot Checks:X線の深部線量・分布特性のチェック。
14) Treatment Planning System Tests:治療計画装置上でのCT画像の位置情報のチェック。計算アルゴリズムのチェック。
15) Beam Calibration Check:AAPM等に則り絶対測定を行い、日常使用するファントムとのクロスキャリブレーションをチェック。
16) Safety Systems Tests:全ての安全インタロックの動作をチェック。
17) Robot Mastering:ロボットの座標系に変化がない事を電気的に確認。
18) Couch Indexing Accuracy:治療台の位置表示の精度チェック。

当院では、幾つかの項目は定期点検の際に設置・メンテナンス会社により実施して頂くものもあるが、ほぼ全項目に関して実施できている。また、6)のVisual Targeting Checkに関しては、全ての治療が安全に行えることを確認するため治療前に毎日実施している。9)のFilm Phantom Targeting Testは患者治療のシミュレーションとして行えるテストでもあるので、治療開始当初は全ての症例でこのテストを行っていたが、誤差の傾向がつかめたところで週一回のチェックとした。線量・線量分布のチェックは不定期で行っていたが、今後は週一回のFilm Phantom Targeting Testと同時に実行する事を考えている。

これらの項目以外に症例ごとに治療前のMUチェック、治療後に治療時の照射線量、ロボット位置をシステムに残されたlogより確認をしている。

以上が、Accurayの推奨するQAと当院で行っているQA項目である。次にCyberKnifeの精度について述べる。

3 CyberKnifeの精度

CyberKnifeは患者座標(CT座標)、Target Locating System(以下:TLS)座標、ロボット座標の3つの座標系を持つ(Figure 1)。この3つの座標系が、Figure 2に示すTLS座標系のイメージングシステムのアイソセンターにおいて正確に関連付けされることで、正確な照射が可能となる。照射方法としては、腫瘍の一点に約100方向からビームを収束させるアイソセンター(機械的なアイソセンターではない)を用いたSingle center planning(以下:Single center)(Figure 3(a))という方法と、アイソセンター以外にも任意のビーム数で照射を行うConformal shape planning (以下:Conformal)(Figure 3(b))という2つの照射方法が選択可能となっている。

CyberKnifeの精度は、
1)照射位置精度
2)線量及び線量分布の精度
の2つに分けて評価している。ここでは、両者ともメーカーなどの提示している精度ではなく、当院で検証した結果の精度を示すとともにその検証方法も合わせて紹介する。

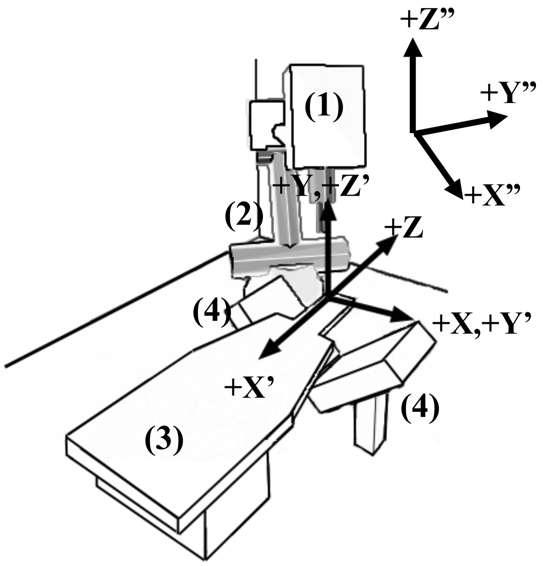


Figure 1. A schema of coordinates systems of CyberKnife shows as follows

X,Y and Z means the patient’s coordinates.

X’,Y’ and Z’ means the TLS coordinates.

X”,Y” and Z” means the robotic coordinates.

The 6MV X-band linac (1) is mounted on the arm of the Kuka manipulator (2). The treatment couch (3) is positioned between the two flat panel detectors (4).

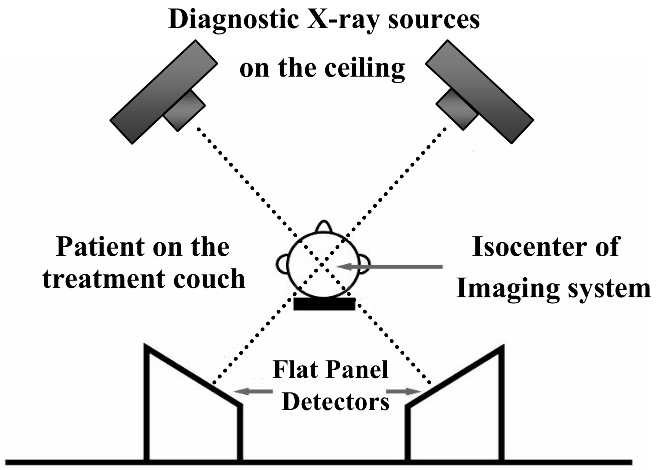


Figure 2. A schema of TLS(Target Locating System).The CyberKnife has two diagnostic X-ray tubes and two amorphous silicon detectors. Those are set up so that orthogonal (90-degree offset) images of the target can be obtained.

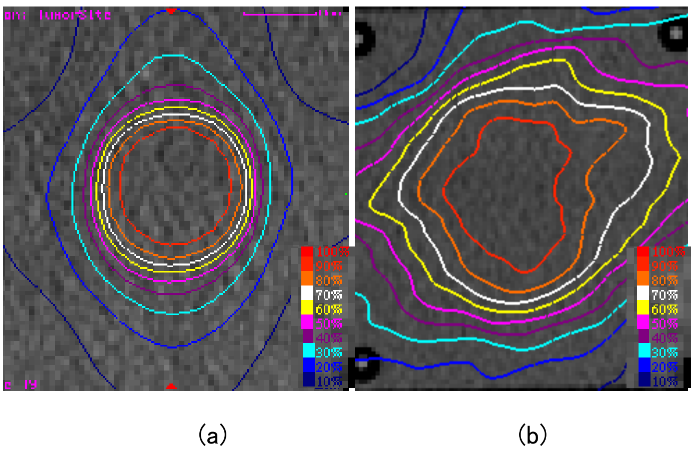


Figure 3. Isodose lines of dose distributions, 90~10% of maximum. (a): Single center planning used 100 beams, (b): Conformal shape planning used 43 beams

1)照射位置精度

CyberKnifeは治療前に撮影した患者のCT画像より作成されたDRRと、TLS用のフラットパネルディテクタより得られた治療中の患者の透視画像とを比較し位置検出を行う。そのため、セットアップの際には、CT検査時の状態を再現する必要がある。この時、患者の頭部のローテーションは照射位置誤差を生じる要因となる。ファントムにポリスチレン製Cubic Phantom(Accuray Inc.)(Fig.4)を用いることでDRR画像・透視画像ともに辺縁がはっきりし、ローテーションなども視覚的に認識が容易となり、セットアップ時の誤差が最小限に抑えられるため、システム限局の照射位置精度を評価することが可能となる。また、人頭型ファントムSheila(エポキシ樹脂及びウレタン混合)(Accuray Inc.)(Fig.5)を使用することで、頭部のローテーションまでをいれた臨床に即した照射位置精度の評価が可能となる。

フィルムはGafchromic Dosimetry Media、Type MD-55 (ISP Technologies Inc.)(以下：Gaf-Film)[3]、スキャナはES-2200(EPSON)を使用する。Cubic Phantomは中のブロックの位置を変更することにより、GAF-Filmを積層したフィルムキューブを自由な位置に移動することが可能である。人頭型ファントムもフィルムキューブを使用するが、フィルムキューブの移動できる可動範囲は限られている。解析ソフトはPhotoshop(Adobe Systems Inc.)、SigmaScan(SPSS Inc.)、SigmaPlot(SPSS Inc.)、Excel(Microsoft Inc.)を使用する。

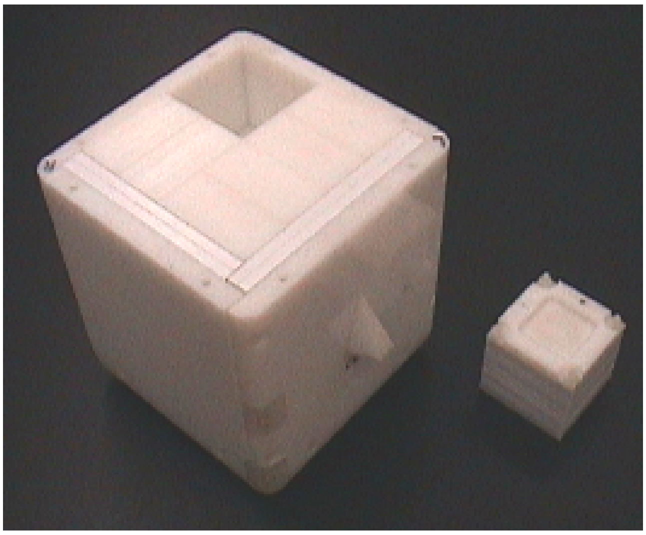


Figure 4. Cubic phantom and Film cube. The film cube can be placed at any desired point within the Cubic phantom.

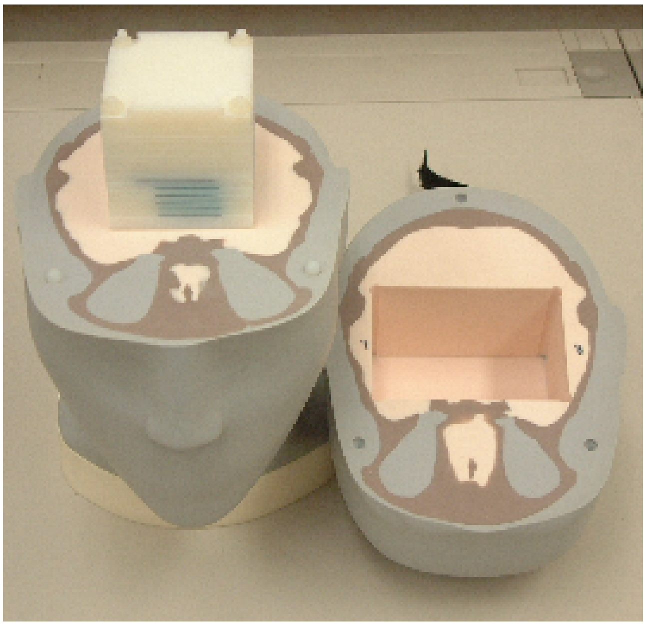
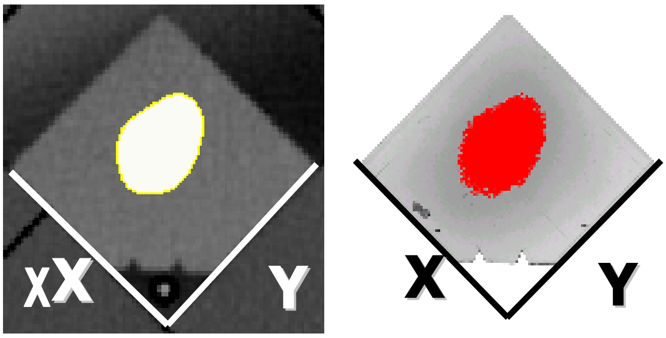


Figure 5. Human head shape phantom， film cube and rectangular blocks.

照射位置精度の評価は大阪大学の塩見らにより考案された評価法[4)]を用いて行う。この評価法は、CT撮影、治療計画装置、TLS、ロボット、リニアックなどの全ての幾何学的誤差が含まれている（以下：総体照射誤差）。ファントムにGaf-Film(6.2 cm×6.2 cm)を15枚積層したフィルムキューブをセットし、CT撮影を行い治療計画装置に取り込み照射計画をたて、照射を行う。この時、照射中心にGaf-Filmが位置するようファントムの中にフィルムキューブをセットする。全ての計画において20　mmφのコリメータを使用し、Fig.3(a)に示すSingle centerにて2500 cGy照射するよう計画をたてる。治療計画装置上のGaf-Film面における最大線量に対する閾値処理を70％の等線量曲線にて行い、その重心位置を求める。次に、照射後のGaf-Filmをスキャナで読み取り、治療計画装置上で設定した閾値線量内の面積と一致する面積をもつ濃度レベル以上の部分で閾値処理を行いその重心位置を求める。治療計画装置上での重心位置と、Gaf-Film上の重心位置の比較を行い(Fig.6)総体照射誤差を求める。なお、Filmを積層することで3次元的な重心位置の比較が可能となっている。Fig.6に示す座標系を最終的にはCT座標系に変換し評価する（Cubic　Phantomの場合Fig.6のようにCT座標系に対し45度の角度を持つが、人頭型ファントムの場合はフィルムの座標系とCT座標系は一致するようにフィルムキューブはセットされる）。各軸方向への平均誤差と標準偏差、式1により3次元的位置誤差を求め、その中央値、最大・最小誤差で評価を行う。



(a)　　　　(b)

Figure 6. Method of comparison between TPS and Film dose distribution. (a): The area inside the 70% iso-dose line on TPS is colored white, (b): The area inside the same as (a) on Gaf-film is colored dark gray.

3次元的位置誤差＝　$(X^2+Y^2+Z^2)^{0.5}$　　（式1）

X=Qx－Px　Y=Qy－Py　Z=Qz－Pz

P=（治療計画上における重心のX,Y,Z座標値）

Q=（Film上における重心のX,Y,Z座標値）

今回は、Cubic　Phantomでアイソセンター座標(Fig.2)に5回と、アイソセンターより各方向に5 cmずらした座標に対し照射した結果を、人頭型ファントムではイメージングシステムのアイソセンター座標に対し5回照射した結果を示す。

Cubic Phantomでの結果：測定結果をTable 1に示す。3次元的位置誤差の中央値は0.31 mm、最小誤差:0.13 mm、最大誤差:0.44 mmであった。
人頭型ファントムでの結果：測定結果をTable 2に示す。3次元的位置誤差の中央値は0.30 mm、最小誤差:0.22 mm、最大誤差:0.45 mmであった。

Table 1. Summary of total locating error with cubic phantom

Trial no.	Error components (mm)			Total	Cube position
	A/P	L/R	I/S	(mm)	
1	0.06	0.12	−0.28	0.31	Center
2	0.13	−0.02	0.10	0.17	Center
3	0.21	−0.04	−0.01	0.21	Center
4	−0.09	−0.26	−0.25	0.37	Center
5	−0.06	0.08	0.09	0.13	Center
6	0.09	−0.12	−0.18	0.23	Right
7	0.25	−0.06	−0.33	0.42	Left
8	0.35	0.08	−0.26	0.44	Superior
9	0.02	0.24	−0.25	0.35	Inferior
10	−0.19	0.16	−0.05	0.25	Anterior
11	0.35	−0.12	−0.01	0.37	Posterior
Average	0.10	0.01	−0.13	0.31(Median)	
S.D.	0.18	0.15	0.16		

*A/P: anteroposterior, L/R: left-right, I/S: inferosuperior
S.D.: standard deviation

Table 2. Summary of total locating error with human head shape phantom

Trial no.	Error components (mm)			Total	Cube position
	A/P	L/R	I/S	(mm)	
1	0.13	0.13	−0.12	0.22	Center
2	−0.06	0.10	−0.28	0.30	Center
3	−0.24	−0.07	−0.37	0.45	Center
4	0.25	−0.16	0.23	0.38	Center
5	0.25	0.03	0.10	0.27	Center
Average	0.07	0.01	−0.09	0.30(Median)	
S.D.	0.21	0.12	0.25		

*A/P: anteroposterior, L/R: left-right, I/S: inferosuperior
S.D.: standard deviation

この結果は診療報酬算定の上で定位放射線治療の根拠となる照射中心の精度が1.00 mm以内という基準を、CT撮影から照射までの全ての幾何学的誤差を含んだ評価である総体照射誤差にて十分満たしている。また、主要な定位フレームを詳細に検討した文献では、どの定位フレームについても平均で1.00 mmを超える位置誤差を認めたという報告もあり[5)]、リニアックなど通常の定位照射装置では、この定位フレームの精度が照射位置精度に直結し、さらに装置の機械的誤差なども含まれてくる。これらを考慮すれば、当院のCyberKnifeの照射位置精度は良好であると考えられる。

2)線量及び線量分布の評価方法

まず、人頭型ファントムにEDR-2フィルム(KODAK)をセットし、CT撮影を行う。CT撮影後のフィルムは濃度変化を生じているので、新しいフィルムと入れ替え使用する。その後、照射を行う。この時、線量対濃度変換テーブルを作成するために50 cGy～600 cGyまでフィルムに照射し、照射後のファントムより取り出したフィルムと同時に現像処理を行い相対的比較により線量を求める。

評価にはDD-System (R-Tech)を使用する。まず、CyberKnifeの治療計画装置より64×64×64の三次元マトリクスにて構成されている線量データを取り出す。三次元マトリクスから64×64ピクセルのフィルム面に相当する平面データを取り出し、線量マップを作成する。次に、スキャナで線量対濃度変換テーブル用に照射を行ったフィルムを読み込み、線量対濃度変換テーブルを作成する。その後、照射後のファントムより取り出したフィルムをスキャナにて読み込み、各ポイントに線量としてのデータを持たせ、線量マップを作成する。治療計画装置より作成した線量マップとフィルムより作成した線量マップを用い、各ポイントでの線量を比較することで評価を行う。各ポイントにおける誤差率（error ratio）(%)を式2より求めその結果を画像表示する。また、各々の線量マップを重ね合わせることで線量分布の評価を行う。

誤差率＝((フィルム上の線量－TPS上の線量)÷ TPS上の線量)×100 （式2）

フィルム上の線量：フィルムより作成した線量マップ上の線量

TPS上の線量：TPSから得た線量マップ上の線量

DD-Systemでは線量評価の結果を数値としてレポートに表示することが可能である。各ピクセルでのTPS上の線量とフィルム上の線量の比であるRatio(%)を式3より求め、10%線量領域ごとに区切り、その中にある全ピクセルの評価を行い、Ratioの最小値をRatio minimum、最大値をRatio maximumとする。また、各10%線量領域内の誤差率のroot mean squareを求めRMS-Errorとする。

Ratio＝(フィルム上の線量÷TPS上の線量)×100 （式3）

今回は、照射方法による影響をみるため、Fig.3に示すSingle centerとConformalにて約450 cGy照射するよう計画をたてファントムに照射した。また、コリメータサイズによる影響をみるため、Single centerでは通常使用する最大・最小のコリメータと頻繁に使用するコリメータ（40 mmφ・7.5 mmφ・20 mmφ）を使用しアイソセンター座標に対し照射をした。Conformalは20 mmφのコリメータを使用し実際に患者へ照射したプランを採用しFig.3(b)のように43方向より照射した。

線量分布の評価結果：Fig.7に結果を示す。Single centerではどのコリメータサイズにおいても10%、90%線量領域でのズレが大きくなる傾向があるが、それ以外ではよく一致していた。ConformalではSingle centerと比較するとズレは大きくなった。

線量誤差の評価結果：Fig.8とTable 3に結果を示す。Single centerでは7.5 mmφのコリメータを使用したものの誤差が他のコリメータサイズと比較し大きくなった。Conformalは他の照射法と比較し辺縁部の誤差が大きい傾向にあったがほぼ5%以内の誤差に収まっていた。

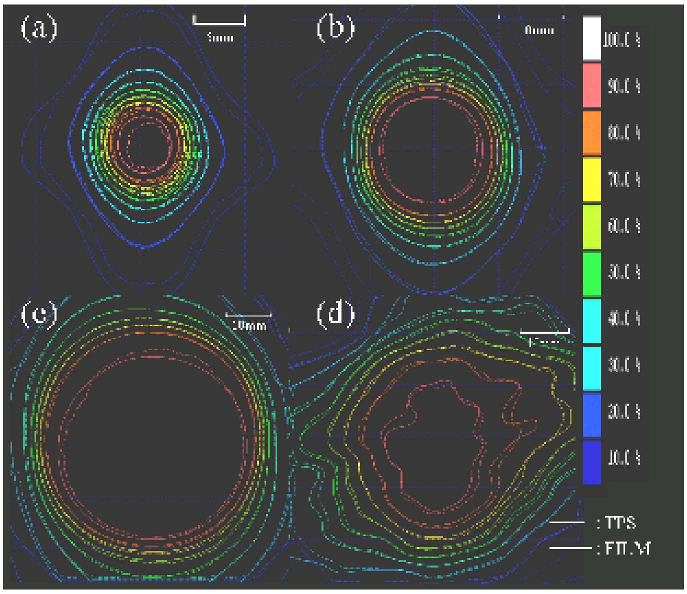


Figure 7. Comparison between TPS and Film dose distributions. (a)~(c): Single center planning with collimator size 7.5mm(a), 20mm(b) and 40mm(c) , (d): Conformal shape planning

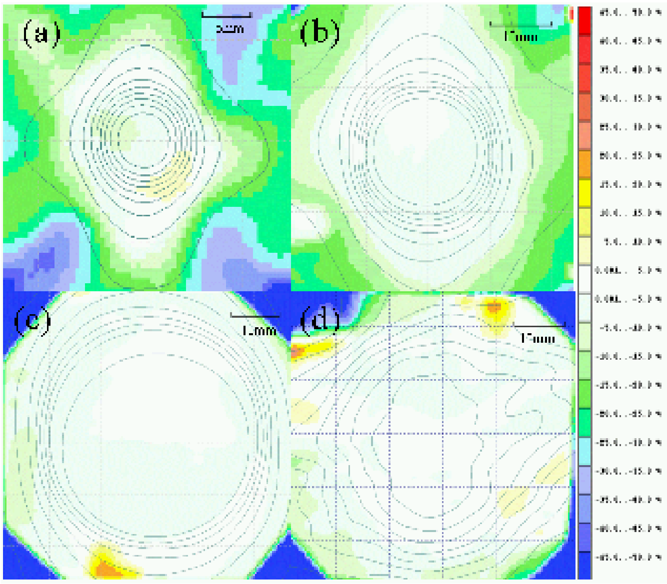


Figure 8. Comparison between TPS and Film dosage (error ratio). (a)~(c): Single center planning with collimator size 7.5mm(a), 20mm(b) and 40mm(c), (d): Conformal shape planning

Table 3. Dose error ratios by planning methods in each dose contour

Ratio	Single Center (7.5mm) Ratio (%) Min	Max	RMS Error	Single Center (20mm) Ratio (%) Min	Max	RMS Error	Single Center (40mm) Ratio (%) Min	Max	RMS Error	Conformal shape Ratio (%) Min	Max	RMS Error
20-30	90.6	110.0	5.1	81.0	105.6	5.6	85.4	108.3	6.6	87.4	124.5	5.0
30-40	91.0	110.7	4.7	89.9	104.4	3.8	90.1	107.6	4.3	90.7	112.4	5.2
40-50	90.7	113.1	5.2	92.3	106.5	3.1	91.2	111.0	3.3	93.8	111.5	4.3
50-60	90.9	113.8	5.0	93.5	107.3	2.5	92.2	106.6	2.6	97.4	110.6	3.3
60-70	92.0	112.6	3.8	94.2	108.1	2.4	94.5	104.1	2.4	94.2	102.5	2.3
70-80	92.3	109.5	2.4	95.1	105.4	1.8	94.3	109.3	2.0	93.8	107.8	1.9
80-90	93.0	104.8	2.2	96.4	103.6	2.6	95.4	103.8	2.3	95.9	104.5	1.4
90-100	93.2	100.0	3.8	95.7	102.5	4.0	94.7	103.0	4.0	96.5	104.2	1.4

4　まとめ

今回の結果ではごく一部に5％を越す線量誤差が認められたが、Fig.8とTable 3に示したようにほぼ5％以内に収まっていたこと、Fig.7の線量分布の良好な一致などを考慮すれば、その精度はコリメータサイズ・照射方法によらず良好であると考えられる。

以上、CyberKnifeのQA、精度について述べた。QAについては今後早急にユーザーあるいは学会主導で指針となるものが示される事を期待する。なお、精度についてはJASTRO掲載論文のデータ[6)]を抜粋したもので、現在はロボット、位置認識アルゴリズムが変更されている。

参考文献

1) 日本医学物理学会：定位放射線照射のための線量標準測定法 －STIの線量とQA－　通商産業研究社　2001

2) AAPM Report No.54：Stereotactic Radiosurgery, AAPM, 1995

3) 青山英樹、中桐義忠、井上光広、他：Gafchromic MD-55-2-filmのLaser Densitometer Model 1710における線量計測体系上の適合性. 岡山大学医学部保健学科紀要 12(2), 83〜90, 2002.

4) Shiomi H, Inoue T, Nakamura S, et al：Quality Assurance for an Image-guided Frameless Radiosurgery System using Radiochromic Film. Radiat.Med. 18(2), 107〜113, 2000.

5) Macuiunas RJ, Galloway RL, Latimer JW ：The Application Accuracy of Stereotactic Frames. Neurosurgery 35, 682〜695, 1994.

6) 井上光広、大森理江、佐藤健吾、馬場義美他：CyberKnifeの照射精度. 日放腫会誌. 15(3), 177-185, 2003

A 血管性病変

中枢性疾患の血管病変は主に以下のように分類できる.

1)脳動静脈奇形
(arteriovenous malformation AVM)
2)硬膜動静脈瘻
(dural arteriovenousu fistulae AVF)
3)海綿状血管腫
(cavernous malformation)
4)静脈性血管腫
(venous angioma)

脳動静脈奇形(AVM)は先天的疾患と考えられており、γナイフによる定位放射線療法で初期に効果が確立された疾患である。

硬膜動静脈奇形(dural AVF)は後天的疾患であり、外照射による分割治療でも効果が確認されている。

手術および放射線治療の補助手段として塞栓術が行われることがある。治療体積を減少さす効果は大きいが、塞栓後短期間で放射線治療を行った場合には、放射線治療後に塞栓部が再開通する等で治療成績が低下することもあり、注意が必要である。

1 脳動静脈奇形

動静脈奇形 (arteriovenous malformation AVM) に対する治療の基本方針としては、体積 14ml(直径換算にて30mm)程度までのAVMに対して辺縁線量約20Gyを1回で照射している。

治療計画は造影CTを元に作成する。血管撮影は参考データとして使用するにとどめる。従来、血管撮影から治療計画を作成する事が重要であるかの意見もあったが、正側2方向から撮影した血管撮影フィルムよりも造影剤を急速注入した2mmスライスのCTの組み合わせのほうが辺縁や立体関係をより明瞭に描出できる。最近ではγナイフの治療計画作成にも、血管撮影よりはCTやMRAに重点がおかれてきている。

通常、AVMの定位放射線治療ではSRS(1回治療)が推薦されており、J. Adlerは大きい脳動静脈奇形の場合には辺縁線量を減量してでも1回で治療をし、数年後に再照射を検討することを薦めている(私信)。

2 硬膜動静脈瘻

硬膜動静脈瘻 (dural arteriovenousu fistulae AVF) に対する放射線治療は、従来の分割外照射にても効果が確認されている治療法である。1門で局所へ2Gy X 15回～20回程度の照射例が多いが、広範囲に放射線があたることと、3－4週間の治療期間が必要となるなどの問題点が指摘されている。

定位的に照射をすれば、周囲への影響を減少し、短期間で治療が出来ることから、定位的治療が試みられている。しかし、病巣が球型でなく、平面的な広がりをもっているために、治療時間が長時間となる傾向がある。

本疾患に対しては、まだ定位放射線治療の実績が少なく、 今回は全例が塞栓術後の追加療法であった。

3 海綿状血管腫

海綿状血管腫 (cavernous malformation) は少量の出血を繰り返すことが多い疾患であり、血管腫の周囲にヘモジデリンが沈着している症例が多く、致死的な大量出血を生ずることは少ない。

海綿状血管腫に対する定位放射線療法により再出血が予防されたとする報告が散見されるが、逆に、副作用として血管腫周囲の浮腫がAVMの2－3倍の確率で出現するとの報告もあり、治療適応かどうかについては慎重に判断する必要がある。

4 静脈性血管腫

静脈性血管腫 (venous angioma) 静脈性血管腫は出血を来たすことが少なく、放射線治療による効果も期待出来にくい事から定位放射線治療の対象外とされている。

「 参考 Radiosurgery-Based AVM Score 」

AVM score = (0.1)x(volume of lesion in cm^3) + (0.02)x(patient age in years) + (0.3)x(location of lesion, which was assigned 0 for a frontal/temporal, 1 for a parietal/occipital/corpus callosum/cerebellar, or 2 for a basal ganglia/thalamus/brainstem location).

文献: Pollock BE, Flickinger JC: A proposed radiosurgery-based grading system for arterio-venous malformations. J Neurosurg 96:79-85, 2002

AVM（脳動静脈奇形）

動静脈奇形に対する放射線治療は、1970年にSteinerがγナイフを用いて治療したのが最初の症例である。

その後、1983年になり、 Betti らが Linac による定位放射線治療を報告したとされる。

Linac による AVMの治療成績は、松尾らの報告[B1] では、治療終了 2年後で閉塞率 12/17（70.5%） 3年後で 13/16（81.2%） と報告されている。この結果は、他のγナイフなどの治療効果とほぼ同じである。

定位放射線治療から血管撮影上AVMが消失するまでの出血(破裂)の危険性は未処置の場合とほぼ同じ約3% との報告が多い。

γナイフ初回治療後5年以上を経過した144症例のBruceらの報告[B2] によると、副作用なく閉塞した例は96例、軽微な副作用を伴い閉塞した例は9例であり合計105例（73%）であった。16例（11%）は副作用もないが閉塞もしてない不変例。26例（18%）で繰り返し治療が必要であった。15例で重大な後遺症が残り、5例は死亡した。浮腫が続くとかcystが出来たとかの為cyst-peritoneal shuntを要した例が1例、AVM摘出を要した例が4例あった。AVMの破裂で死亡したり手術を必要とした例は15例（10%）であった。

多くの患者様は将来出血の危険を回避でき通常の生活を送っているが、中には数年を経過したあとでも副作用のため治療を要する例もあると述べている。

また、DSA等の血管撮影上AVMが消失してもなお0.1%程度で出血が起きることが報告されており、今後治療後の経過をみていく上で重要な点である。

重大な急性有害反応は報告されてないが、遅発性有害反応として浮腫や壊死がおこる。2年以内での浮腫出現は約30%程度で発生しており、まれながらも神経膠芽腫が発生したとの論文もある。放射線により生じた遅発性障害の浮腫は長期間遷延することが多く、長期間、副腎皮質ホルモン治療を必要とする場合が多い。

定位放射線治療の適応は、ナイダスの体積10cc以下で摘出困難な例や合併症等のため手術が困難な例、摘出術を拒否する例などが適応になる。

文献

B1） 直線加速器による定位放射線照射の理論と実際
編集 ： 柴田尚武　白土博樹　平岡眞寛
医学書院　p77
B2） Bruce EP, Deborah AG, Robert JC: Patient Outcomes after Arteriovenous Malformation Radiosurgical Management: Results Based on a 5 to 14 year Follow-up Study. Neurosurgery 52(6) : 1291-1297, 2003

出血を繰り返した38歳女性　AVM

2000年8月16日と2001年2月27日の2回出血の既往有り(2回目の出血は少量)。 橋後部、小脳にAVMあり。一部は上部橋から中脳実質内に入り込んでいると思われる。DSAでは、両側のSCAをmain feeder とするAVMであった。

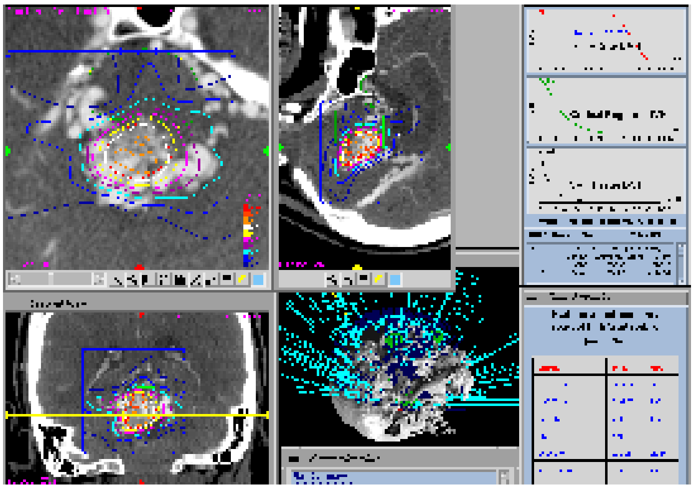
橋後部の主たるAVMに対してのみ照射を行った。中脳髄質内のAVMは治療範囲外とした。

橋への照射線量も考慮して通常より低めの線量(辺縁16Gy)に設定し2001年3月10日1回で治療した。

2001年4月9日 （治療後約1ヶ月） 再出血あり、5月16日塞栓術を行ったが、部分塞栓に終わった。

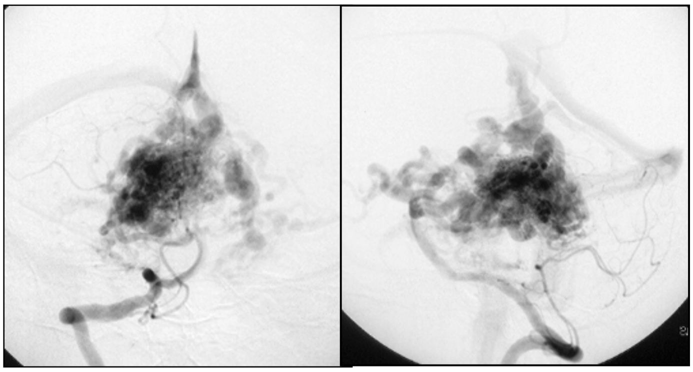
約1年後、構音障害や運動失調などは後遺しているが、MRにてAVMは縮小していた。

2003年8月23日DSAにてAVMの消失を確認した。

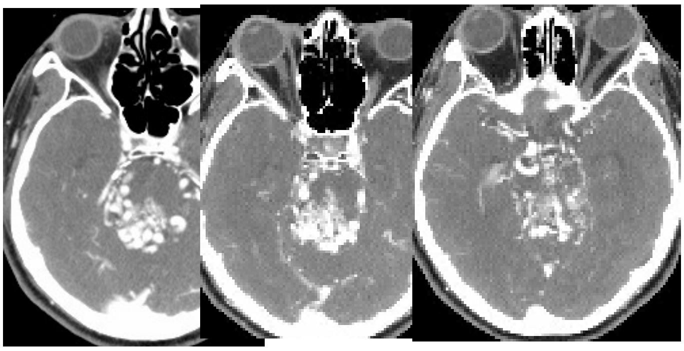


D 24.8mm　　Max 21.2Gy　　Marg 16.2Gy

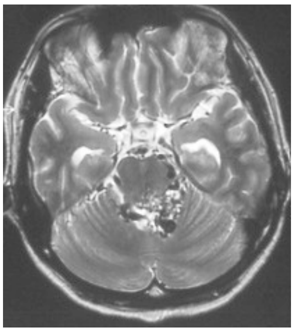
D: 腫瘍体積を直径に換算した値(mm)
Max: 最大線量　Marg: 辺縁線量



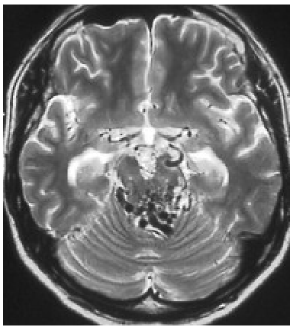
2001年2月7日　DSA



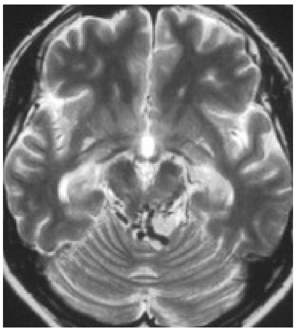
2001年3月9日　造影CT



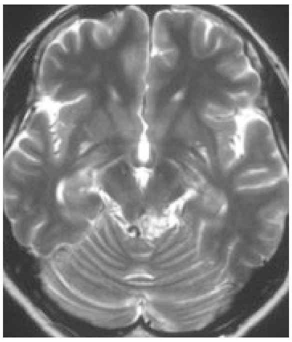
2001年5月7日



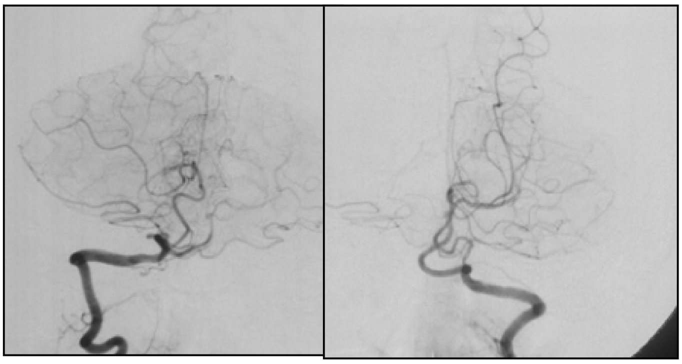
2001年6月22日



2001年11月7日



2002年5月9日



2003年8月23日　DSA

CK216

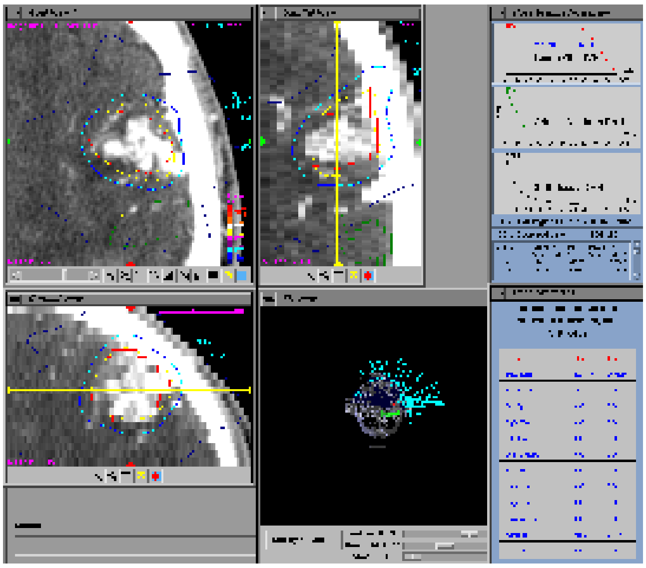
痙攣で発症の　AVM

25才男性、1999年10月右上肢の痙攣で発症。2000年1月当院初診。MRA　にて左premortor area　にAVMを認めた。脳波は正常であった。症候性てんかんと診断し、デパケンで治療開始した。この後てんかん発作は起きてないが、母親が37才のときAVMの破裂で寝たきりになっており、治療を希望。手術による副作用(麻痺等)を懸念し、CyberKnifeで治療となった。2000年5月25日SA等を行い、6月9日　CyberKnife治療をSRS(1回治療)で行った。治療当日の夜、軽い右上肢の痙攣があるもすぐ軽快した。その後痙攣は起きてない。治療2週間後より脱毛が始まったが、数ヶ月で回復した。　2000年9月(約3ヶ月後)、MRAにてdraining vein の描出が不良となった。

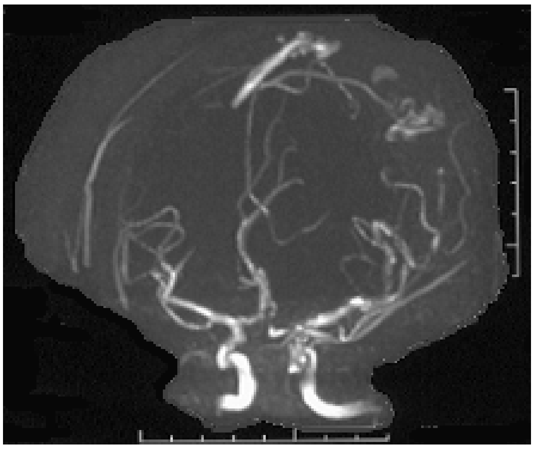
2001年6月28日(約1年後)にはMRAにてAVMはほぼ消失。

2002年8月7日DSAにてAVMの消失を確認した。

治療前　MRA　　(2000年5月)



D 21.4mm　Max 28Gy　Marg 20.4Gy　SRS



約3ヵ月後のMRA
(draining vein の描出が不良となった)

2000年/06月09日　治療約1年後のMRA

2002年08月07日　治療約2年後のDSA

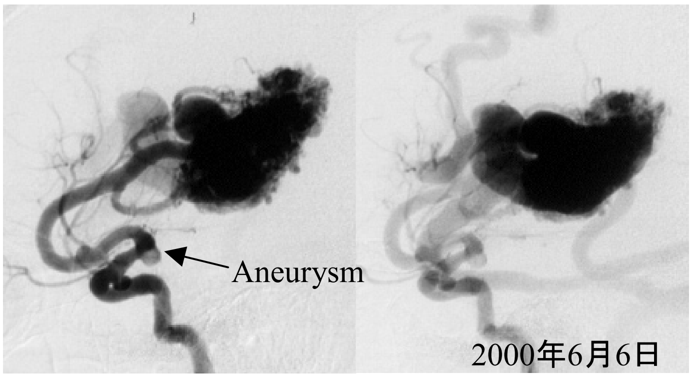
頭痛で発症の　AVM

34才女性、2000年5月7日人混みで他人の肘が頭にあたった。その後より頭痛を自覚するようになり、近医を受診した。CTにて右内包近傍にAVMを疑われ、検査入院した。DSA上、rt MCA をmain feeder とする直径約3cmのNidus, large varixを有するAVMと診断された。AVMが High flow であり、塞栓術は危険と判断され、サイバーナイフへ紹介となった。DSAにて lt ICAに3個のsmall aneurysmがあるが、塞栓術などは受けてない。2000年6月下旬より、左下肢のしびれを自覚するようになり、痙攣様のふるえもあったため主治医と相談。サイバーナイフによる治療を希望して来院された。

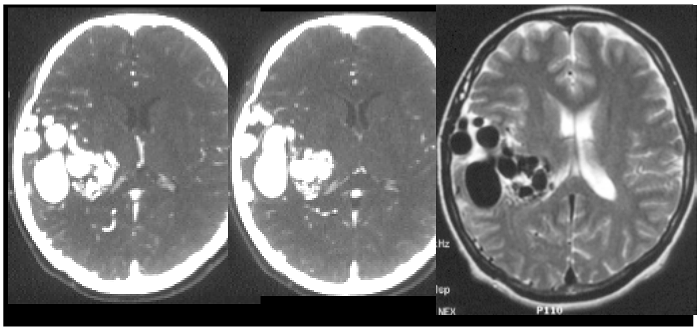
2000年7月6日、7日と2分割で治療した。

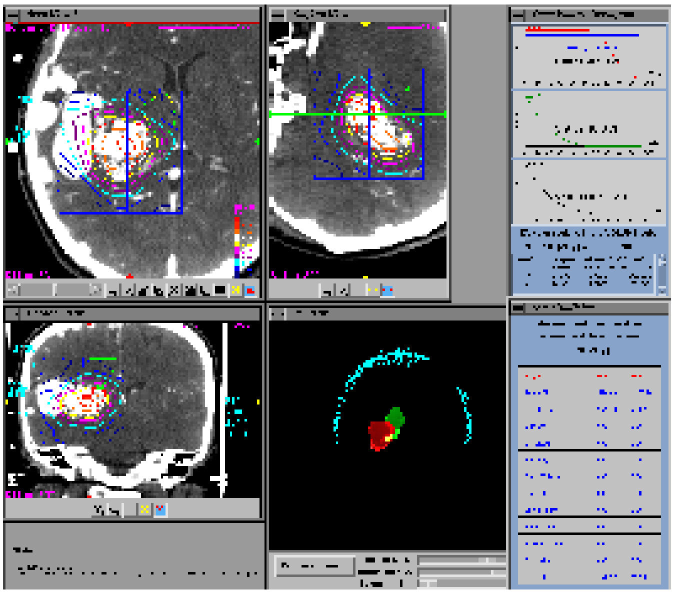
その後クモ膜下出血を起こし、紹介医へ入院。出血の分布等より内頚動脈瘤の破裂と診断し、2001年7月12日開頭ｸﾘｯﾋﾟﾝｸﾞ手術を受けた。術後の経過は良好。

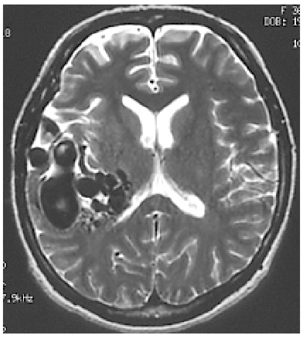
2003年4月（33ヶ月後）のMRIにても異常血管が残っている。

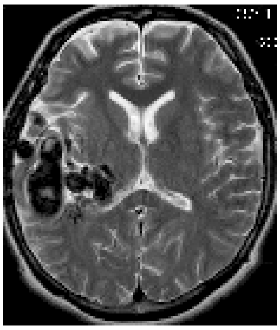


2000年6月6日

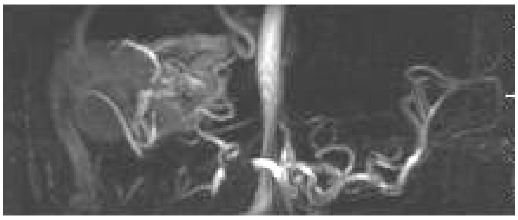

2000年07月04日


治療計画
D 31.5mm　Max 30.0Gy　Marg 19.1Gy


2002年01月31日


2003年04月03日

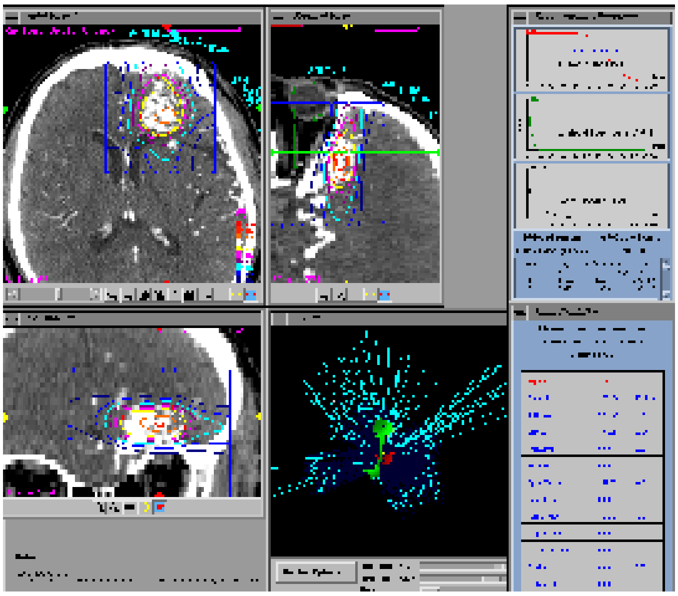
2003年04月03日　MRA　Lat


2003年04月03日　MRA　AP

CTで偶然見つかったAVM

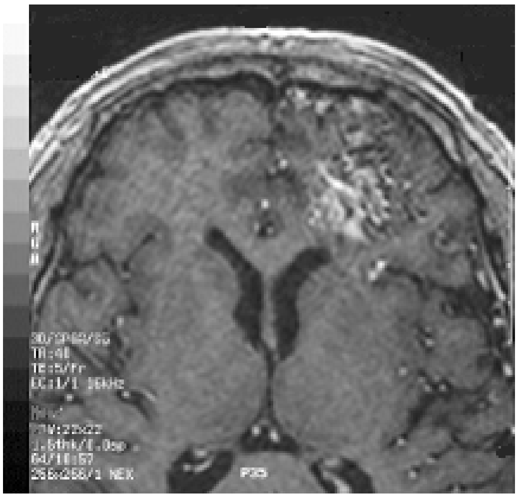
1998年1月交通事故の際頭部CTを受け、lt frontal base にAVMを疑われた。MRAにて確定診断。無症状のため外来で経過観察としていた。8月に入り意識消失発作がありAVMが原因と思われた。9月10日−9月11日 DSAのため入院。その後外来で抗痙攣剤にて経過観察したていたがコントロールがあまり良くない状態であり、CyberKnife治療につき説明。治療を希望されたので2000年10月31日SRSにて 治療。治療後、てんかんはおきてない。

約2年後のMRAにてNidusの描出が減少して見えるが、単純CTにて左前頭葉にhigh density を認める。

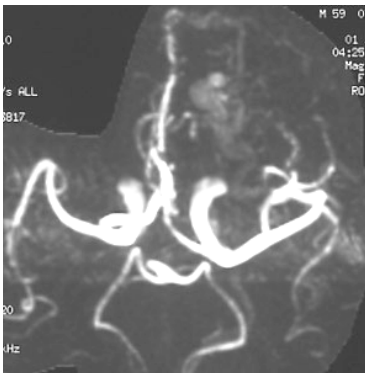


D 22.4mm Max 37.9Gy Marg 20.3G SRS

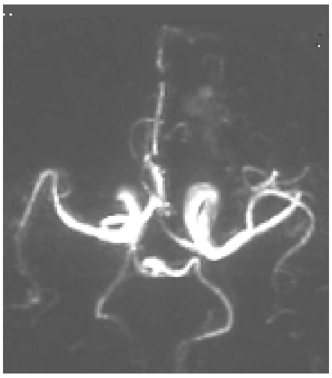
1999年3月25日 ECT



2001年03月0S日PGR



2001年7月12日 MRA



2002年7月18日 MRA

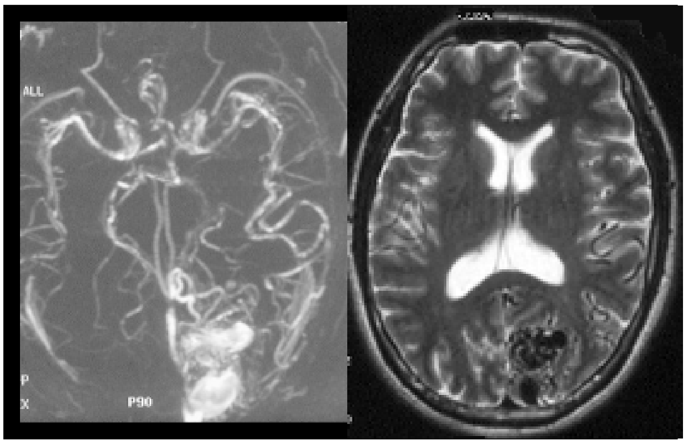
2003年3月27日 P_CT

頭痛・視野障害　AVM

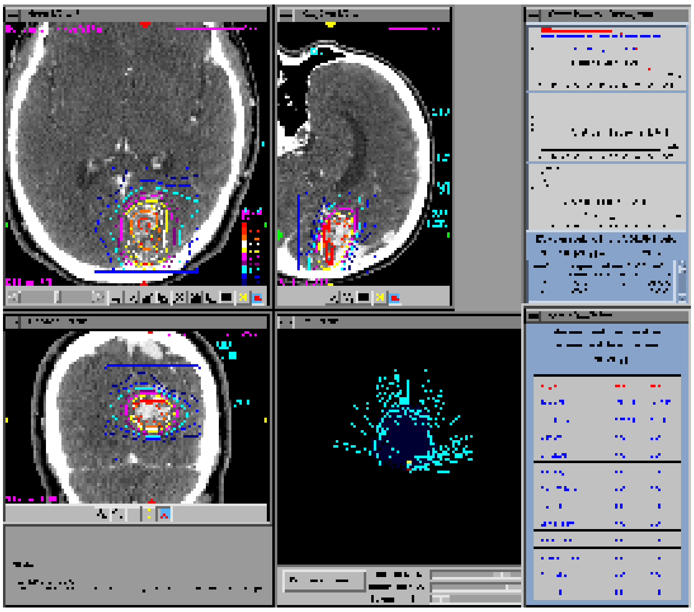
34歳　男性　数年前より他院でlt occipital AVMを指摘されていた。2000年11月7日　当科初診。頭痛があるがこれは緊張型頭痛と思われる。時々、右視野内にちらちら感があると訴えるがてんかん発作はない。11月24日DSAにてLt occipital AVM Spetzler 1/1/0 Gr II

CyberKnife治療を希望され、12月22日入院にて1回治療。

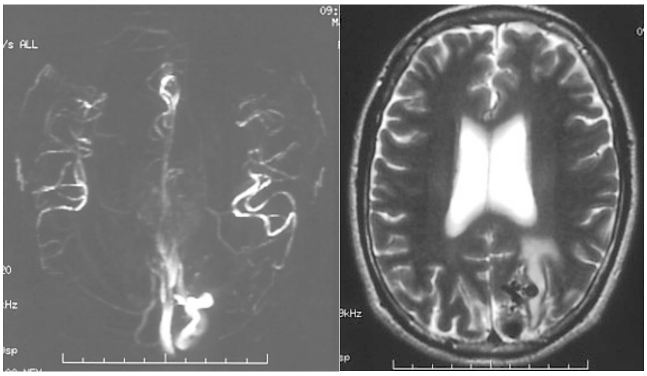
経過観察のMRIにてAVM周囲に浮腫があるが、臨床症状はない。MRA、MRIともにAVMは徐々に縮小している。



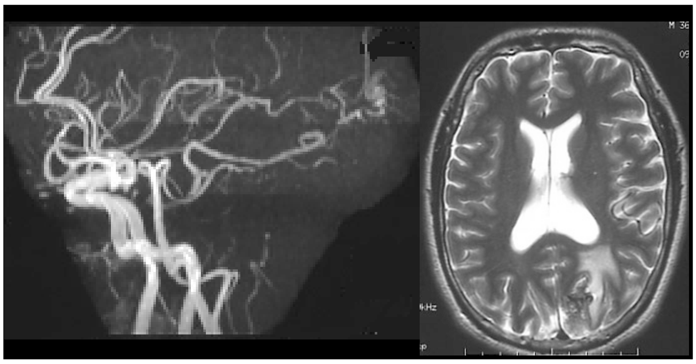
2000年12月21日　　2001年03月31日



D 25.5mm　Max 28.8Gy　Marg　20.0Gy　SRS



2002年6月18日　　2002年06月18日



2003年2月1日　治療約26ヶ月後　2003年2月1日

繰り返し治療を要した　AVM

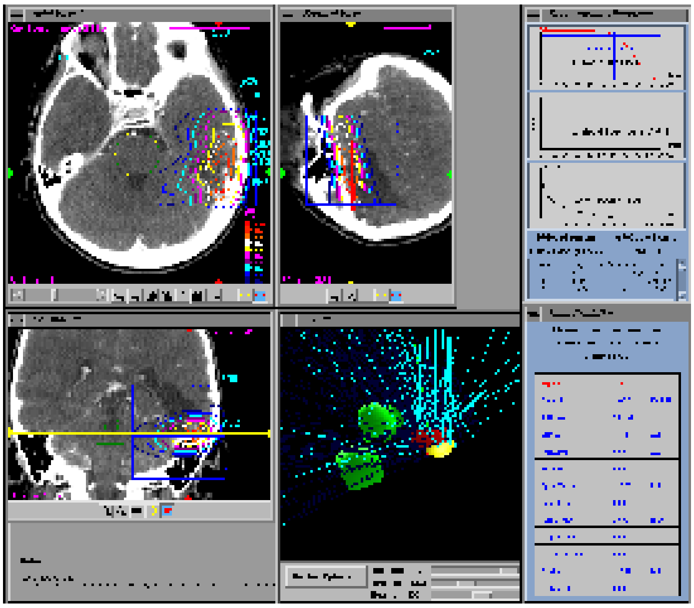
８歳の時、脳内出血にて発症。意識状態悪く、緊急血腫摘出術施行。術中、血腫壁には異常を認めなかったが、術後のANGIOにてAVMが見つかった。

１998年9月２日(9歳)サイバーナイフ治療を受けた。辺縁19．2Gy　SRT　2分割治療。SRS換算では14－15Gyとなる。

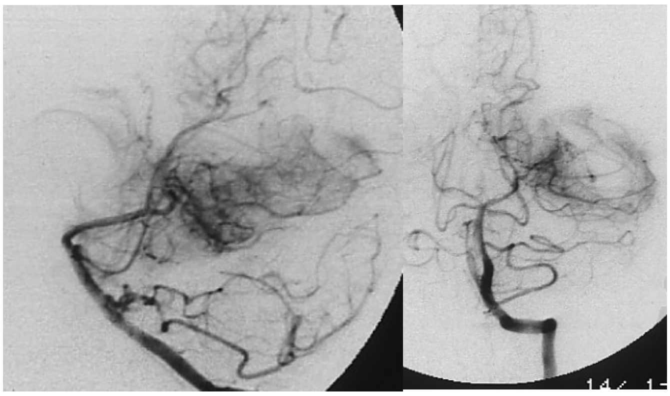
経過観察のDSAにて血腫後のCavityの外側部にAVMが残っており、今回追加照射となった。なおこの部は、前回CTにて造影が淡く、照射野からはずれていた。

辺縁18Gy　1回治療とした。術後合併症はおきてない。

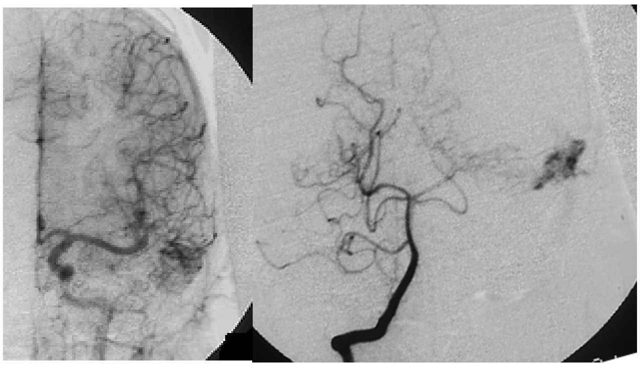
最終DSA(2回目治療から24ヶ月後)にて、まだ小さいnidusが残っている。



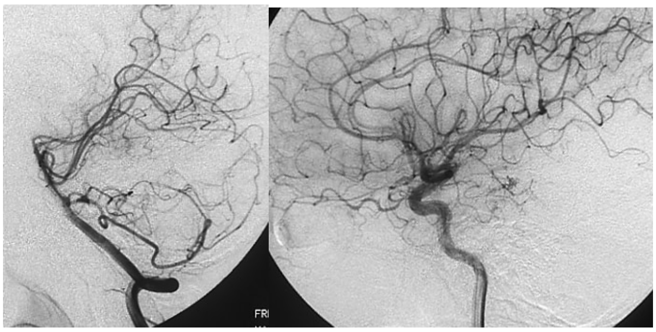
D 23.0mm Max 29.4Gy Marg 18.0Gy SRS



1997年12月02日　DSA　初回治療前



2000年12月27日　DSA　初回治療より27ヶ月後 (2回目治療前)

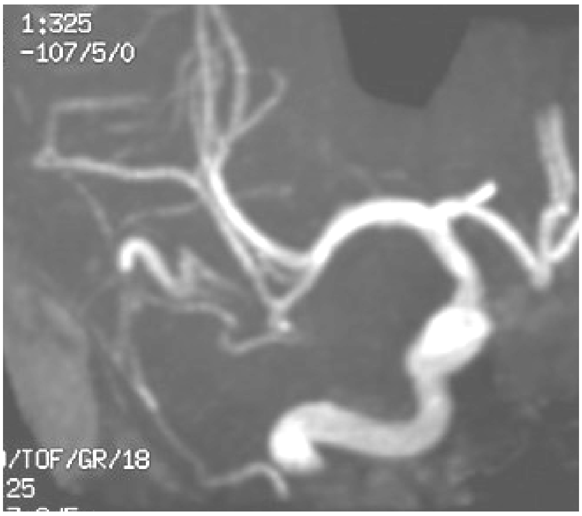


2002年12月26日　DSA　 2回目照射より24ヶ月後に行ったDSA(最新)にて、まだ小さいnidusが残っている。

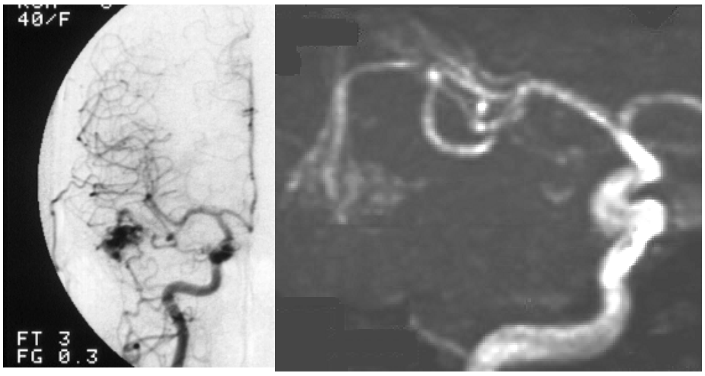
めまい・後頭部痛　AVM

2001年3月9日めまいと後頭部痛のため当院を受診。MRIにて右側頭部にAVMが疑われた。3月19日MRAにてAVMを確認した。症状とAVMには関連性が薄いと思われた。選択可能な各種の治療法につき説明を行った。いろいろと考えられた結果、サイバーナイフ治療を受けられることになり、18日入院、DSA。19日造影CTにて治療計画を作成し同日治療をおこなった。

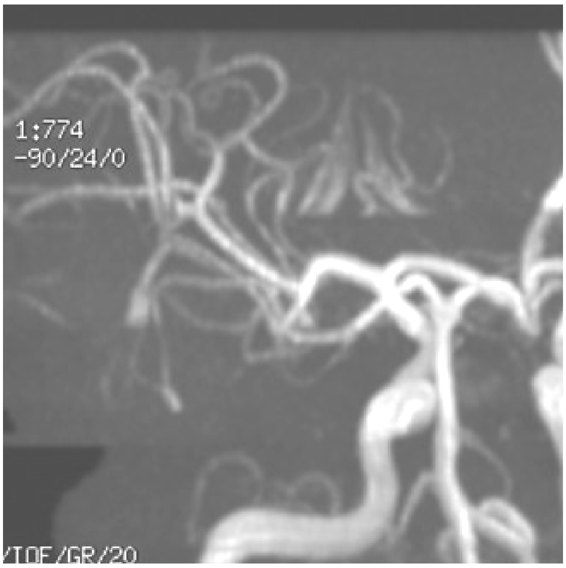
治療後は副作用なし。約7ヵ月後のMRAにてかなり小さくなっている。



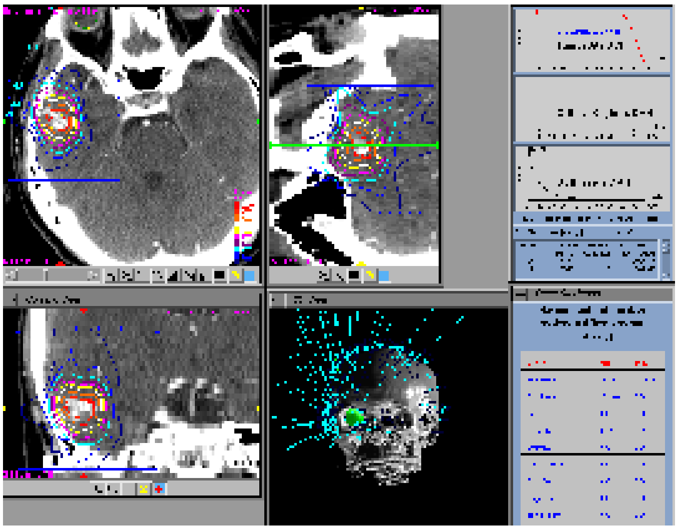
2001年08月27日　約1ヶ月後



2001年7月18日　治療前



2002年02月23日 約7ヶ月後

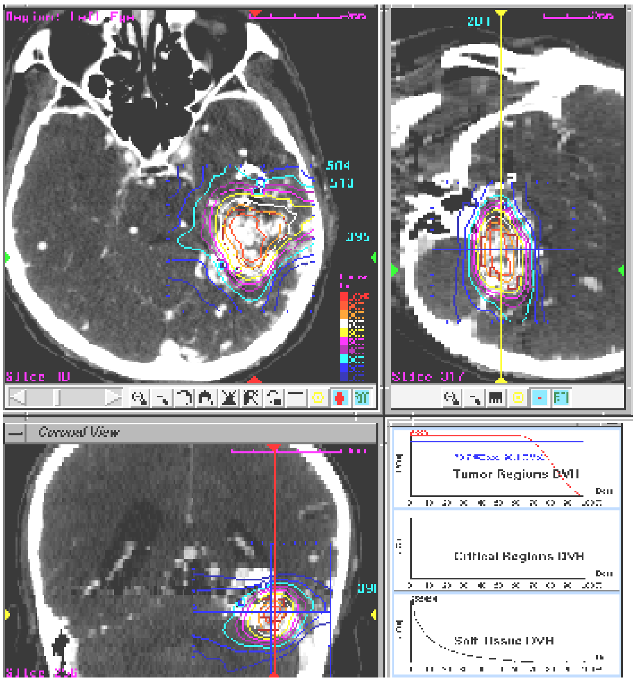


治療計画

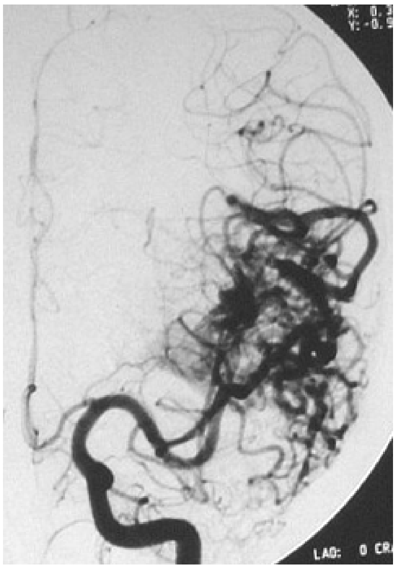
D 13.7mm　Max 23.5Gy　Marg 19.8Gy

てんかん発症　AVM

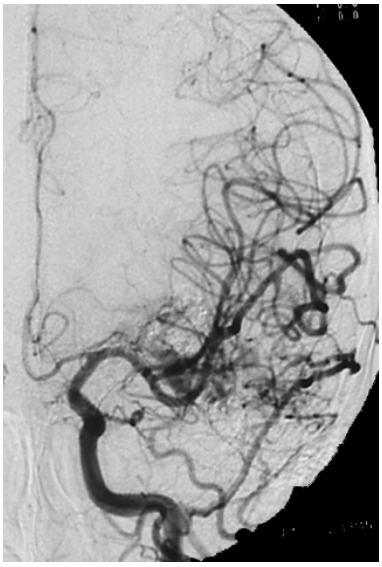
51歳男性　約10年前、道路を歩いていて倒れ、救急車にてK病院へ搬入された事がある。この時には興奮して暴れたらしいとのこと。
2002年4月1日頭がふわっとなり転倒。S病院へ搬入された。検査にてAVMが見つかり、Feeding artery に aneurysm あり。4月11日O病院にて動脈瘤へのコイル塞栓を行った。その後6月4日11日18日の3回塞栓術を行うもまだnidusが残っており、サイバーナイフへの紹介となった。
2002年6月24日診察、サイバーナイフにつき説明したところ治療を希望された。
2002年7月4日来院され、CT撮影、治療計画作成。 2002年7月5日1回にて治療した。
治療後、副作用無く経過。
2003年3月11日（7ヵ月後)のDSAにてAVMはかなり縮小している。



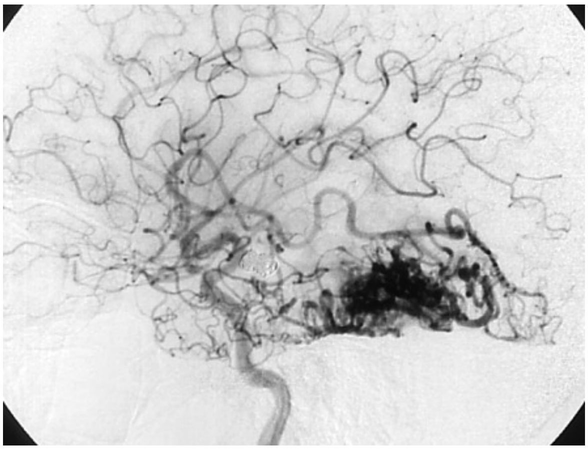
D 23.4mm　Max 28.3Gy　Marg 20.0Gy



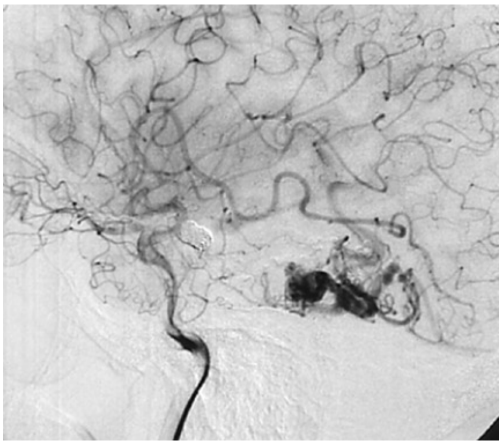
2002年06月04日 (3 回塞栓後　AP)



2003年03月11日（治療 7ヵ月後　AP）



2002年06月04日 (3回塞栓後　Lat)



2003年03月11日（治療 7ヵ月後　Lat）

CK656

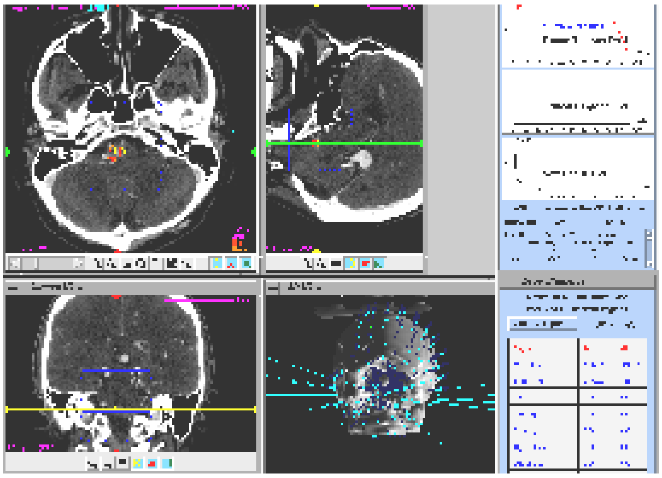
頭痛増強　AVM

35歳男性　30才の時、頭痛が次第に強くなるためS病院にて検査を受け、AVMを指摘された。O病院へ紹介され、まず様子を見ていたが、頭痛がさらに増強、AVMも増大の傾向有り、塞栓術を3回（2002年9月10日、9月17日、9月24日）受けた。塞栓後もなおAVMの残存有り、サイバーナイフへの紹介となった。

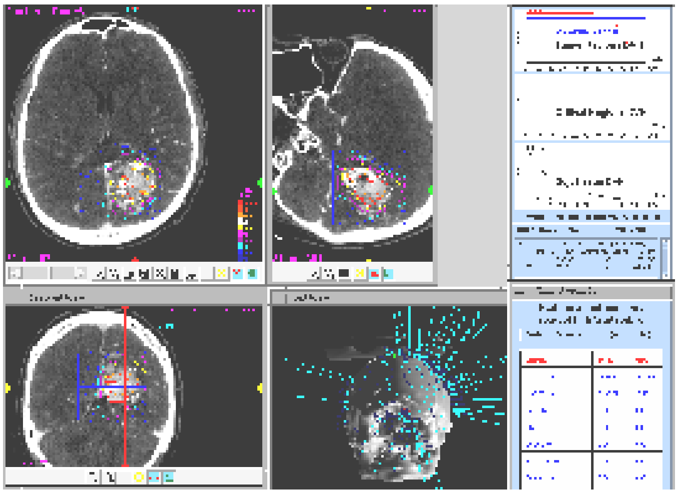
左後頭部の直径3cm程度のAVMと橋下部の小さなAVMの2ヶ所に対して照射した。

2002年9月30日左後頭部への照射後、頭痛が強いため2回目の治療は10月7日になった。

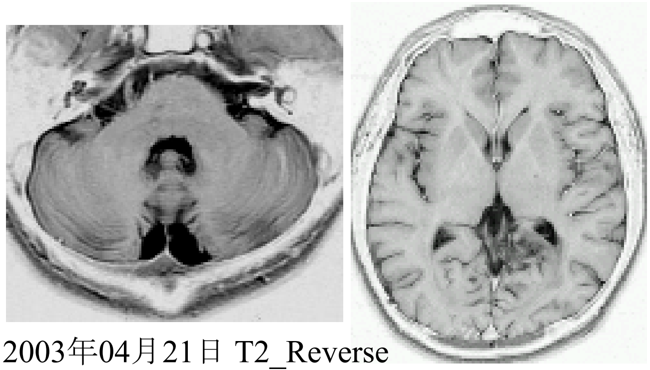
2003年4月21日のMRにて著明な縮小を認める。



D　　8.3mm　Max 15.5Gy　 Marg 12.6Gy

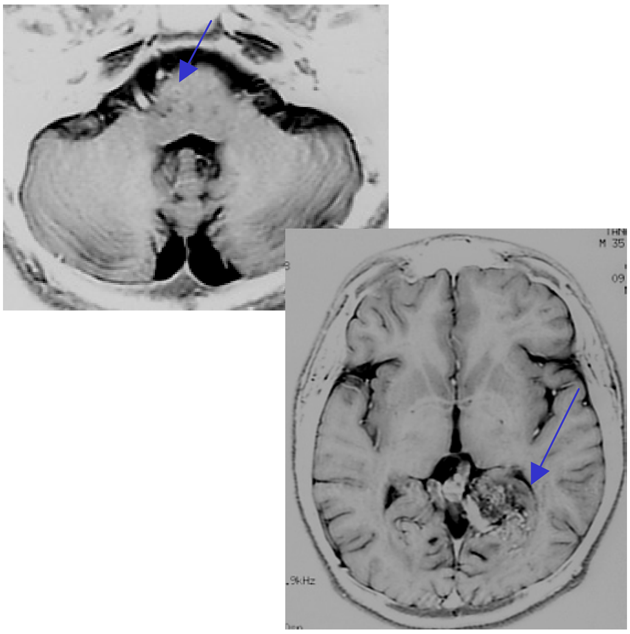


D　 30.9mm　ax 26.5Gy　Marg 18.6Gy



2003年04月21日 T2_Reverse

2003年04月21日　　MRA



照射前DSAと2002年10月28日
T2_Reverse　画像

CK733

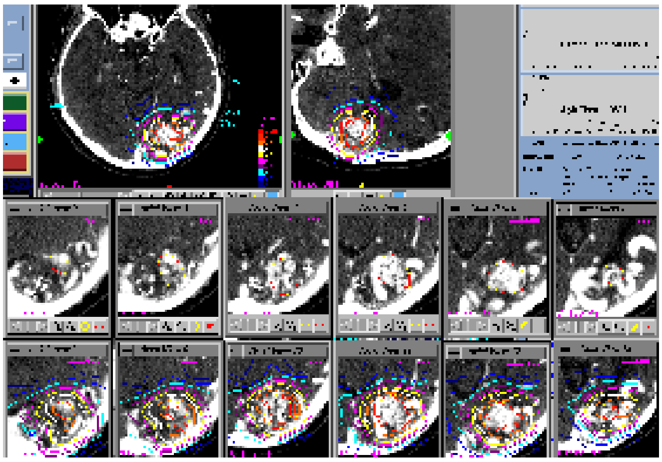
頭痛・視野欠損　AVM

頭痛で発症した左後頭葉のAVM。視野検査にて右視野の狭窄も認めた。

1999年O病院にて、まず左後大脳動脈からCAPにて塞栓を行った。後日中大脳動脈からの塞栓術のためDSAを行ったところfeeding arteryに動脈瘤が見つかった。コイルによる塞栓は困難と判断し中大脳動脈からの塞栓術を中止。開頭によるクリッピングを行ったが、このとき、瘤の近傍から出る細い動脈の閉塞によると思われる梗塞が起こり、視野の悪化と軽い右の麻痺が出た。このため、予定していた左中大脳動脈の塞栓は行わないままで放射線治療へ紹介となった。

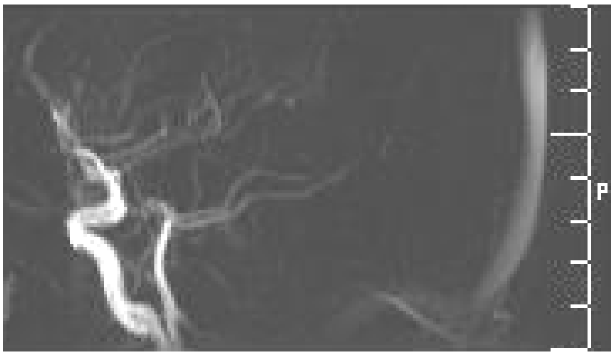
残ったAVMに対して、サイバーナイフ治療の目的で来院された。MRIでは辺縁が不明瞭であったが、造影CTではnidusを明瞭に描出することが出来た。Nidusは直径換算にて約2.5cmであり、辺縁18Gyにて照射した。

2年後、視野障害は残っているが頭痛はない。MRAにてAVMはほぼ消失していた。T2では周囲に浮腫によるhigh intensity areaがある。

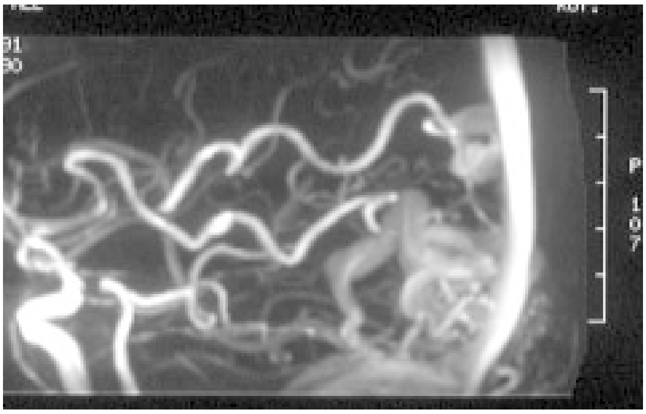


治療計画

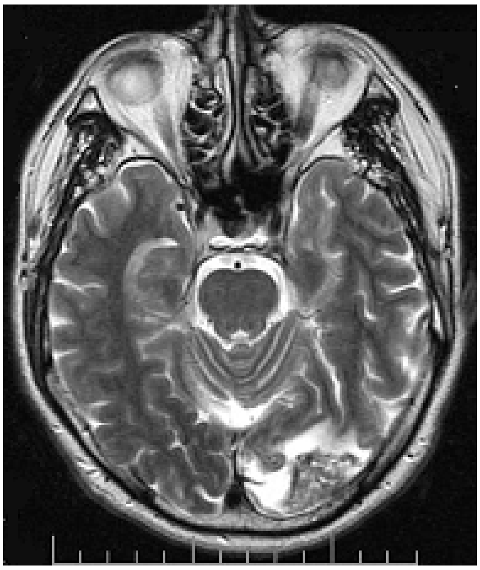
D 24.9mm　Max 21.8Gy　Marg 18.0Gy



治療2年後のMRA



治療前のMRA



治療2年後のMRI　T2

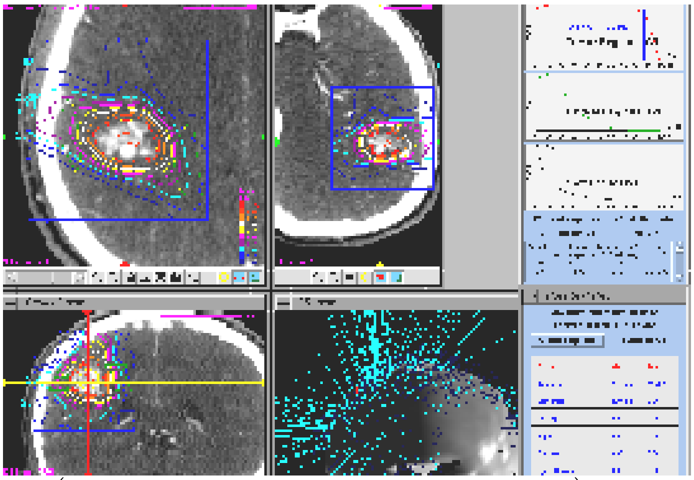
運動領野のAVM

痙攣で発症した24歳男性。

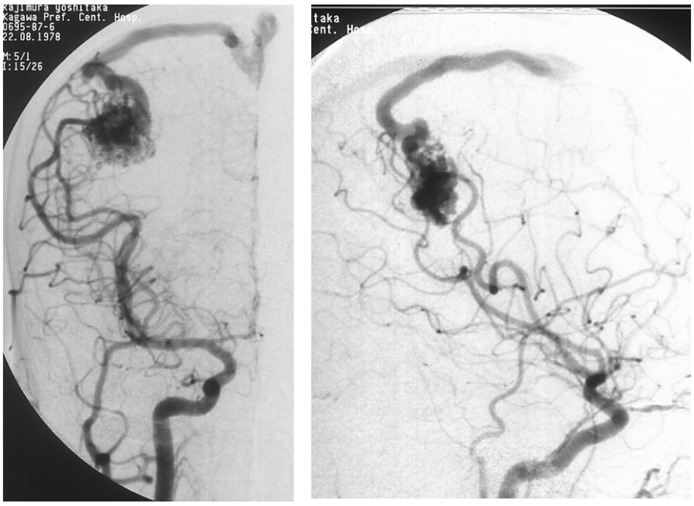
AVMが運動領野に存在するため、手術による運動障害発生などの危惧があり、放射線治療を選択された。

体積4.6cm³ 直径換算20.6mm を最大線量22.9Gy 辺縁線量 20Gy にて1回で治療した。本例は周囲への照射を最低に抑えるため、直径12.5mmの小さめのコリメーターを使用し、AVMの辺縁がシャープになるように心がけた。

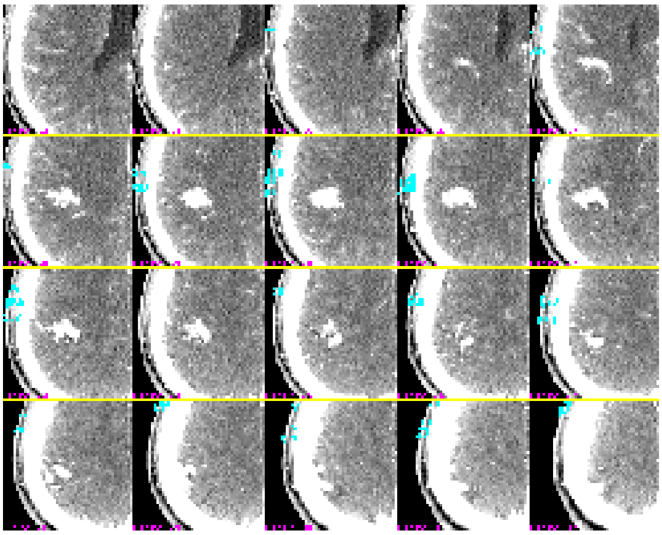
DVH(Dose Volume Histogram) は体積91.1%にて線量87.2%を得た。なお、最小線量は17.6Gyであり、治療時間は約60分であった。



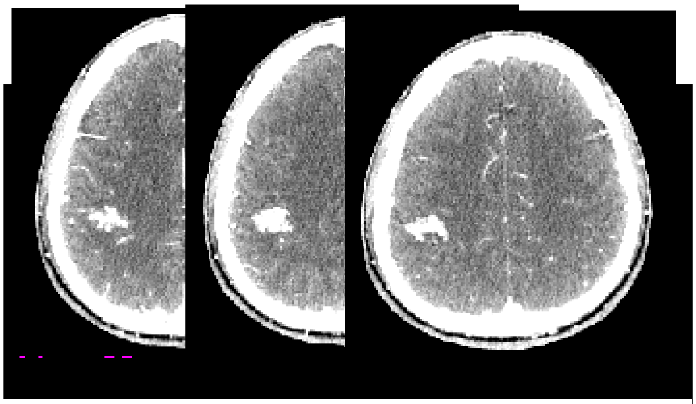
(D 20.6mm Max 22.9Gy Marg 20.0Gy)
D:直径換算 Max 最大線量 Marg 辺縁線量



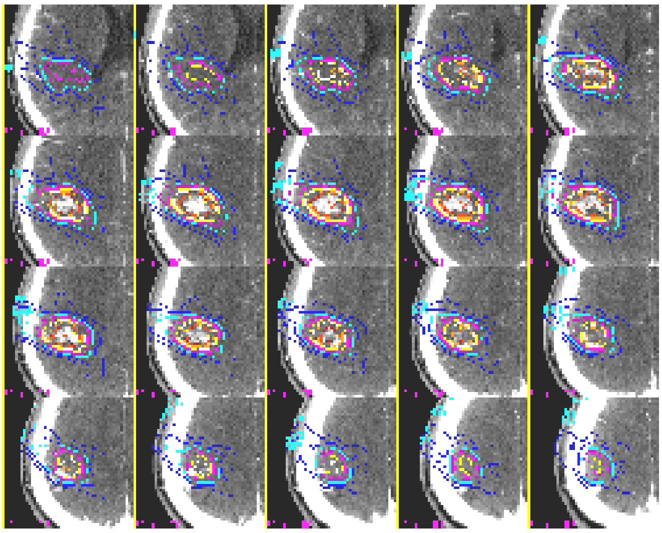
紹介医で検査し、当院へ持参されたDSA(当院では原則としてDSAの再検査は行わない。)



線量分布描出前の多分割CT画面



当院で施行した2mmスライスの造影CTである。AVMの辺縁が明瞭に描出されている。



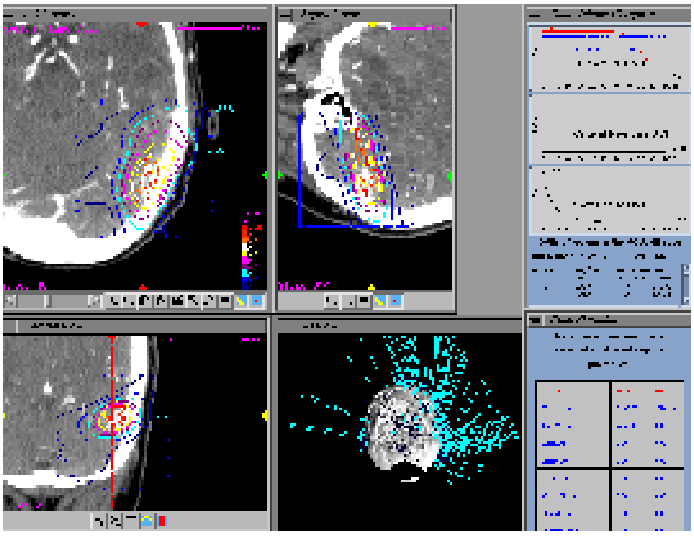
線量分布を書き込んだ多分割CT画面

硬膜動静脈瘻（硬膜動静脈奇形）

硬膜動静脈瘻（硬膜動静脈奇形）に対する定位照射については、まだまとまった報告が無く、外照射による治療を推奨する論文も見られるが、周囲の正常組織に対する照射抑制や治療期間短縮等の利点より定位的照射をおこなった。

辺縁線量についても15Gy～20Gy程度で治療されている例が多い。

我々の施設では、辺縁線量18～20Gyにて治療した。脳動静脈奇形と異なり、CTで病巣を直接描出するのは困難であるが、多くの症例が塞栓術後であり、塞栓術を担当した医師に来院していただき、静脈洞を参考に照射範囲を決定した。



D 18.4mm　Max 29.0Gy　Marg 20.0Gy

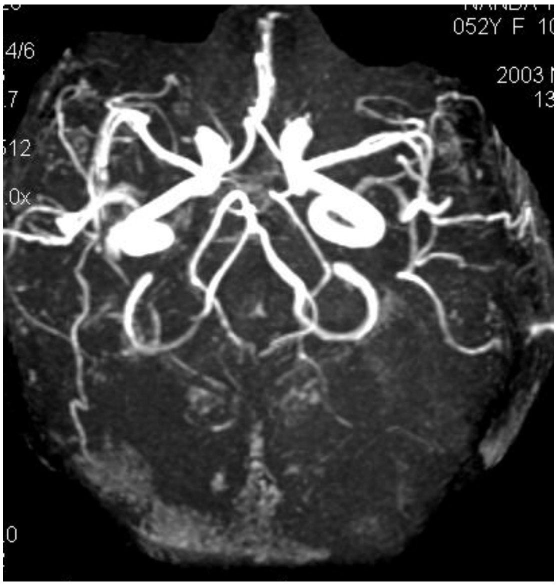
硬膜動静脈瘻

50歳女性。 2001年4月4日てんかん発作にて発症。MRI、DSAにて左横静脈洞、S状静脈洞近傍に硬膜動静脈瘻が見つかりO病院で塞栓術を受けた。

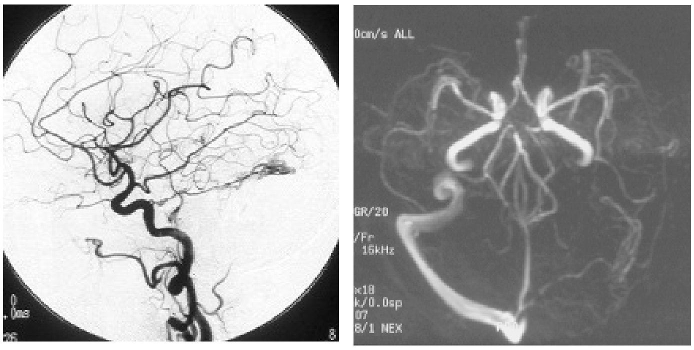
外頚動脈系の塞栓はほぼできたが、内頚動脈からtentorial arteryの塞栓が出来ず、動静脈瘻が残っているため、当院へ紹介となった。

照射部位の決定には塞栓術を担当した紹介医が来院し、治療計画に参加。治療は1回照射とした。合併症無く退院。

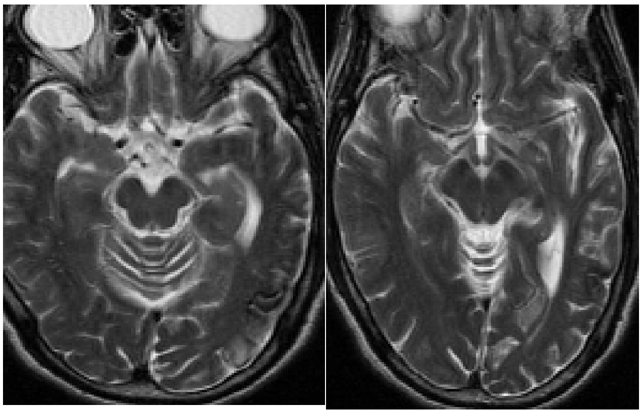
22ヵ月後のMR検査にてMRAでは病巣を指摘できず、T2でもヘモジデリンの沈着によると思われるlow intensityを病巣部に認めるのみであり、flow void によるlow intensityはみとめない。



2003年03月03日 MRA



2001年05月08日　DSA　＆　MRA



2003年03月03日 T2

B 脳腫瘍

転移性脳腫瘍

転移性脳腫瘍は全脳腫瘍の14.5%を占める。原発巣は肺癌50%、消化器癌12.2%、乳癌10.3%、コントロール率(腫瘍が増大しない)は70〜90%と報告されており、1年後のコントロール率が96.7%との報告(千葉県循環器病センター)もある。

一般的に、生存期間の延長は期待出来ないが、QOL(Quality Of Life)を保持できる利点が大きいとされている。

単発例、乳癌例、局所再発にて複数回治療した例では、生存期間が有意に延長したとの報告もある。

全脳照射併用と定位放射線治療単独では生存期間に差が無い。

小細胞肺癌による多発性の転移性脳腫瘍には全脳照射が推奨されている。

定位放射線治療による重篤な合併症や死亡例はない。

治療の適応（当院でのめやす）

1) 1病巣の大きさが直径換算で約3cm以下
   (分割治療では約4cm以下)
2) 病巣数が5個以内 （ガンマナイフでは
   50〜100個でも適応ありとの意見もある)
3) 治療後3ヶ月以上の生存が望める
   (浮腫を合併し麻痺の強い例ではADL
   改善のため予後が短くても治療する場合もある)

治療の原則は上記の如くであるが、直径3cmを超える腫瘍には、3〜5回程度の分割治療を行えば直径換算で約4cm程度までの腫瘍であれば治療可能と考える。ただし、直径3cmを超える転移性脳腫瘍に対する定位放射線治療の実績はあまりなく、浮腫・壊死などの副作用をある程度容認出来る例に限定して治療を行っている。

病巣の個数に関しても、ガンマナイフでは50〜100個でも適応ありとの意見もあるが、サイバーナイフでは1箇所に対する治療に約30分程度を要する関係から1日2−3箇所とするのが合理的である。10個程度なら数日の入院で治療も可能であり、病状をふまえた総合的判断が必要となる。小細胞肺癌からの転移性脳腫瘍は小病巣が多発する傾向があり、サイバーナイフによる治療よりも外照射による全脳照射などのほうが好ましいと考えている。

生存予後の推測は困難なことが多く、予後が3ヶ月以内という理由のみで治療適応外とするのも難しい場合が多い。生命予後不良で、局所症状の無い又は軽い症例では、対症的治療による経過観察が一般的な治療方針と考える。

生存3ヶ月以内と思われても、腫瘍による圧迫に加えて周囲に浮腫が強く出ているなどで麻痺などの局所症状があり、ステロイドの効果が悪い例などでは適応ありと考える。これらの症例では、治療することにより浮腫が改善、腫瘍も縮小しADLが改善、人生の終末期のQOLを保つ事が出来る。

治療計画

1) サイバーナイフでは腫瘍体積の90%部分の線量を辺縁線量と定義している。
　(辺縁線量と最低線量は同じではない。)

2) 辺縁線量23Gy （最低線量約20Gy） を治療目標としている。

3) 辺縁線量/最高線量　は通常約80%程度になる。

4) 小さいコリメーターを選択する場合には、辺縁の線量曲線がシャープになっており、もしターゲットがずれた場合にはコリメーターが小さいほど誤差が増える危険性があるので、誤差を考慮した治療計画の作成が必要となる。(サイバーナイフの照射誤差は通常1mm以内である)

> γナイフでは辺縁約　18〜20Gy(15〜25Gy) 、辺縁線量を最高線量の約50%としている報告が多いが、最新型のAPS搭載形(GK-タイプC)では辺縁線量が最高線量の70-80%に改善された報告も出てきている。
>
> γナイフでは、機械的な誤差のみでエラーが論じられる事が多いが、フレームで頭蓋を強固に固定しても検査時と治療時で最大1mm程度の誤差が出るとの論文[B1]もあり、注意が必要である。

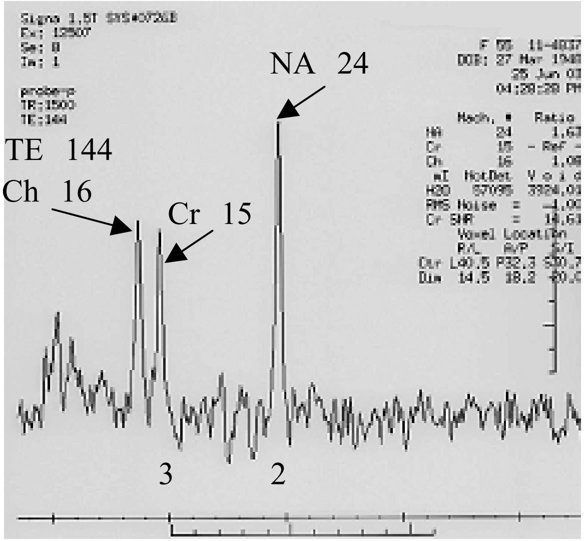
B1) The application accuracy of stereotactic frames.
Maciunas RJ, Galloway RL Jr, Latimer JW.
Neurosurgery. 1994 Oct;35(4):682-94

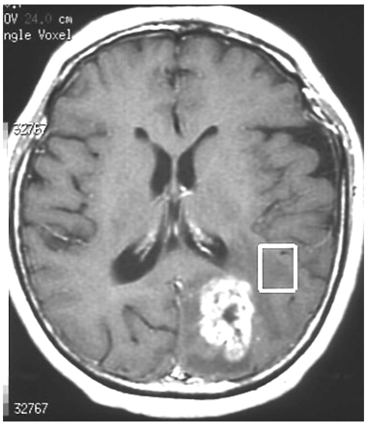
脳壊死と腫瘍再増大の鑑別

腫瘍再発と放射線壊死の鑑別にFDG-PET、MR-Spectroscopy（MRS） が有用であるとの論文が散見される。
MRSにより放射線壊死と判断して経過観察中の1例を提示する。
臨床的には、壊死と腫瘍が混在と思われる場合も多く、確定診断はやはり組織診断によることになる。

本例は乳癌からの転移性脳腫瘍で、直径約4cmの腫瘍に辺縁線量約30Gyを3分割で治療。治療後5ヶ月でのMRSである。
Lipidのピークが非常に大きくなり、NAが低下し、Choline（コリン）も低下していることから細胞活性（分裂）が低下していると考えて経過観察中である。その後も変化を認めない。

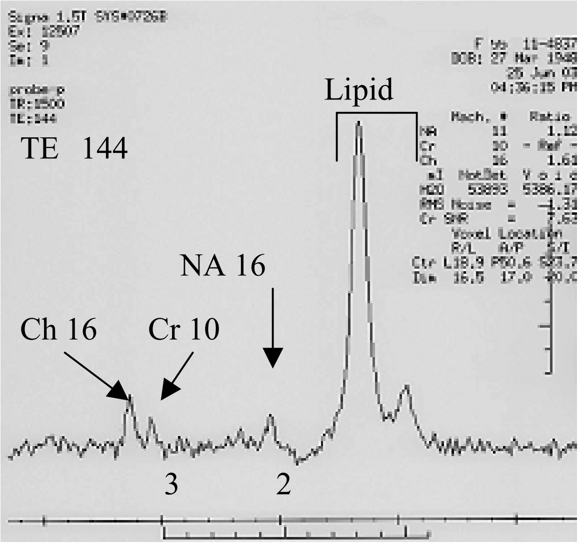
Control Site





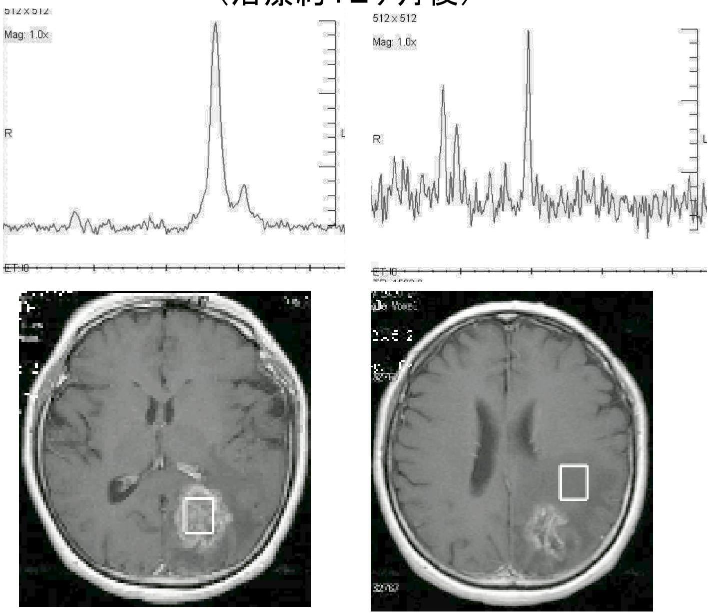
Ch/Cr=1.1

Lesion Site



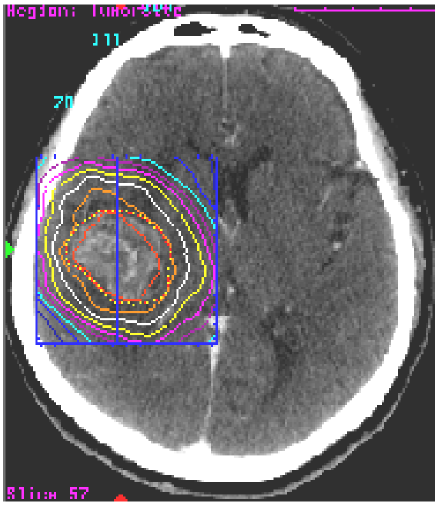
Ch/Cr=1.6

Lesion Site　　2003年８月（治療約12ヶ月後）　　Control Site



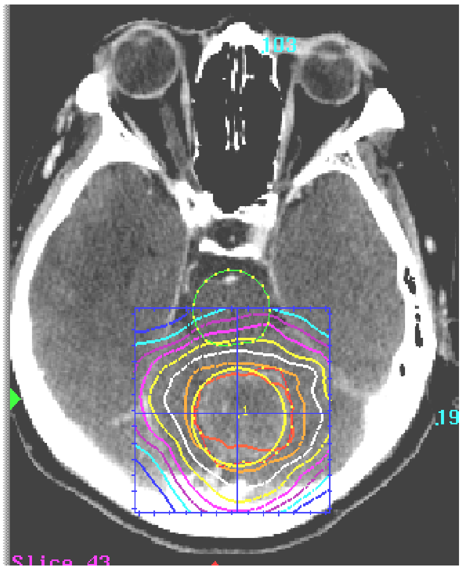
転移性脳腫瘍（子宮癌）

59歳女性　子宮頚癌（StageIIIA）　にてTAE、化学療法、放射線治療を行った。
ふらつきが出現し、ろれつが回りにくくなったため脳のCT検査をしたところ、直径換算で3.1cmと3.5cmの腫瘍が見つかった。
2ヶ所とも3cmを超えており、それぞれ3日間で治療を行った。
小脳の転移性腫瘍については、浮腫等で副作用が出る可能性も考慮し治療した。
急性期、慢性期ともに副作用等も無く順調に経過、約6ヵ月後に行った造影MRIにて腫瘍は著明に縮小していた。



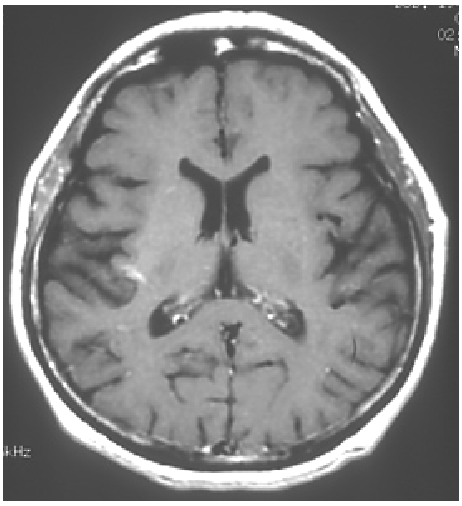
D35.0mm　Max 44.1Gy Marg 34.8Gy
Min 27.5Gy　3 Fr　SRS 22.9Gy

2002年2月5日

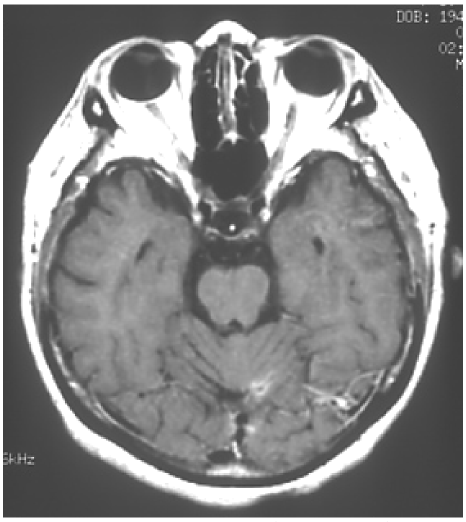


D 31.4mm Max 42.8Gy Marg 35.0Gy
Min 31.8Gy　3 Fr　SRS 23.0Gy

2002年2月5日



2002年8月29日（6ヵ月後）



2002年8月29日（6ヵ月後）

転移性脳腫瘍（肺癌）

風邪症状にて胸部写真撮影受けたところ異常陰影を指摘された。肺癌の診断にて手術を受けた。

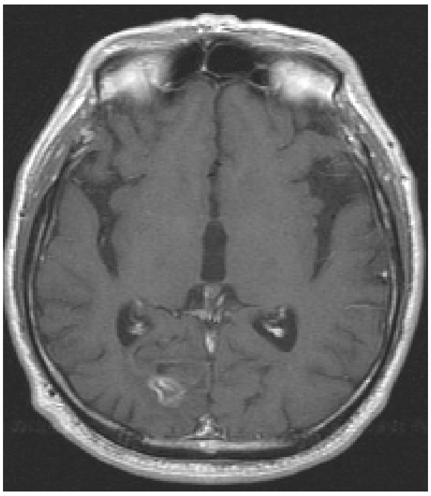
交通事故を起こし、左視野の物体が見えてないことに気づいた。CT検査にて右後頭部に転移性脳腫瘍が見つかり、当院サイバーナイフへ紹介となった。

2002年7月15日CT･MRI検査施行。16日治療。

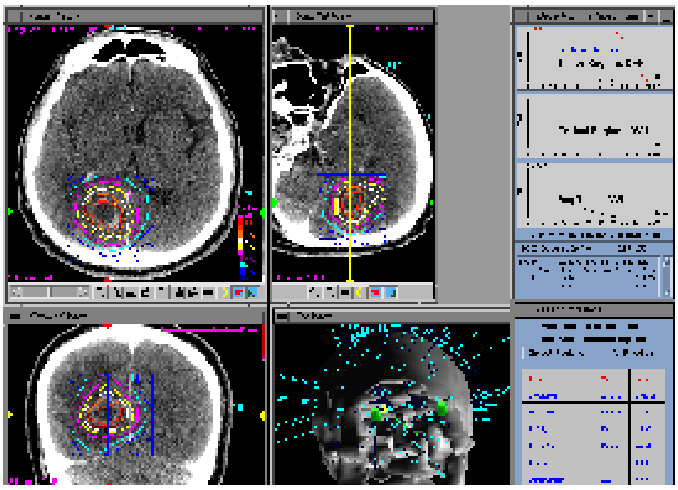
3ヵ月後の経過観察MRIにて腫瘍は縮小しており、新しい腫瘍も認めない。周囲の浮腫も消失しているが左下1／4の視野障害は残っている。

2004年1月7日（治療後約18ヶ月）のMRIにて治療した部に少し造影を認めるが、MRSにてCho/Cr=1.35であり、腫瘍再発の可能性は低いと判断した。2004年3月のMRIでも病巣の増大なし。

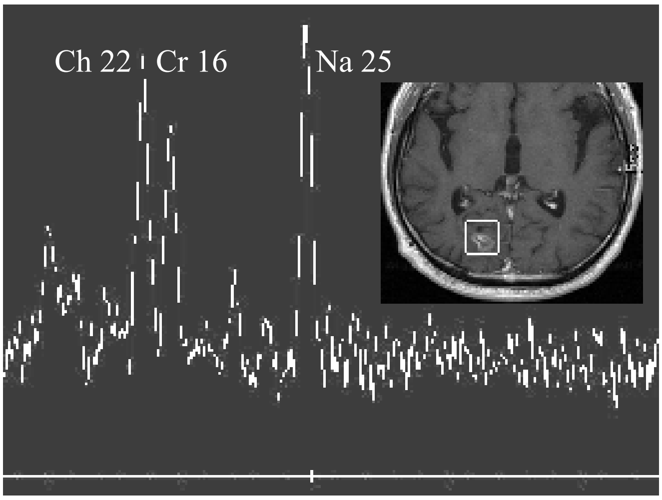
2002年11月20日　（　3ヵ月後　）



2004年1月7日　（　18ヵ月後　）

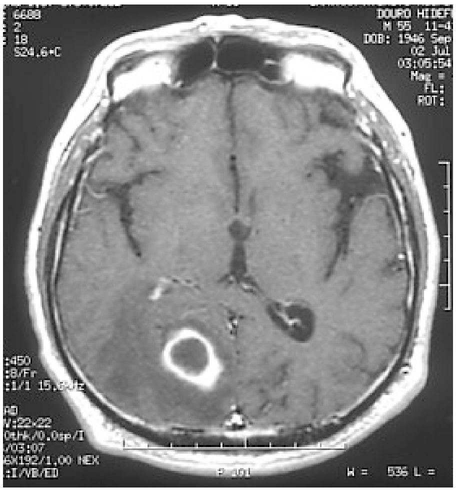


D 28.0mm Max 29.7Gy Marg 23.0Gy Min20.0Gy



2004年1月7日　（　18ヵ月後　）

TR 1500 TE 144
Ch 22　Cr 16　Na 25
Ch/Cr=1.35　Na/Cr=1.35



2002年7月15日（治療前）

転移性脳腫瘍(肺癌)

86歳　女性。 2001年5月にふらふら感のためMRI検査を受け、小さな脳腫瘍(髄膜腫疑い)を指摘され経過観察となった。3ヶ月後にMRIの再検査をしたところ脳腫瘍は急速に増大しており、小さな腫瘍も数個出来ていた。

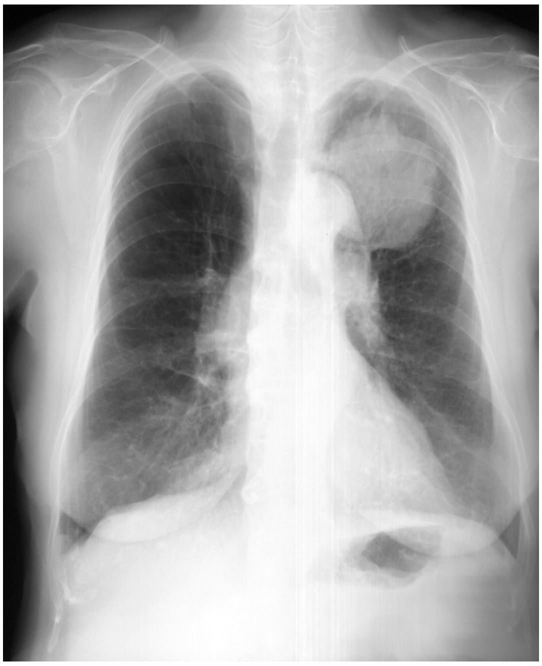
当院初診時の胸部CTにて左上肺野に直径6cm程度の腫瘍あり、肺癌からの転移性脳腫瘍と診断した。見当識障害・頭痛・食欲不振を認めたが、運動障害や胸部症状は認めなかった。

右後頭葉部の腫瘍(直径約4cm)に対して3分割、他の3箇所に対しては各々1回にて治療した。肺癌に関しては経過観察となった。

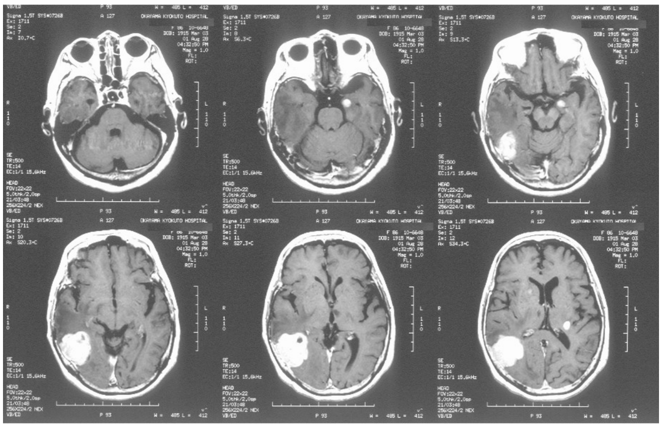
当初体積18.8mlであった右後頭葉部の腫瘍は1ヵ月後には4.7ml、3ヵ月後には1.4mlに縮小した。小さいものは消失した。

その後次第に呼吸困難などの胸部症状が出現し、治療後約7ヶ月で昇天された。末期にも脳症状は出現せず、脳腫瘍のコントロールは良好であった。

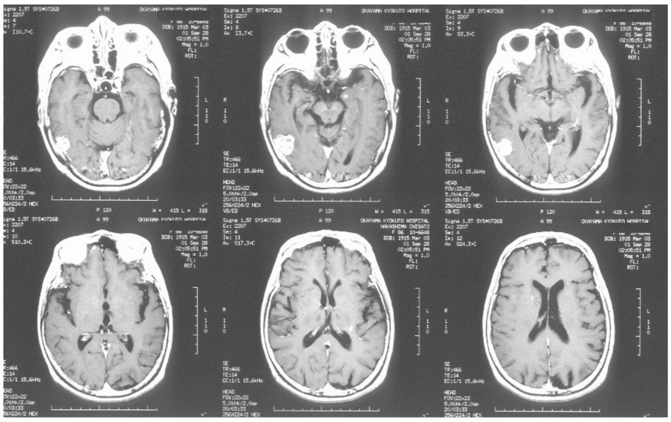
なお体積の計算にはFree soft のImage-Jを使用した(http://rsb.info.nih.gov/ij/)。



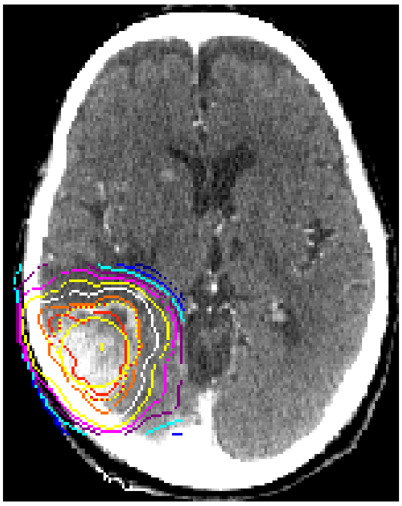
初診時の胸部写真



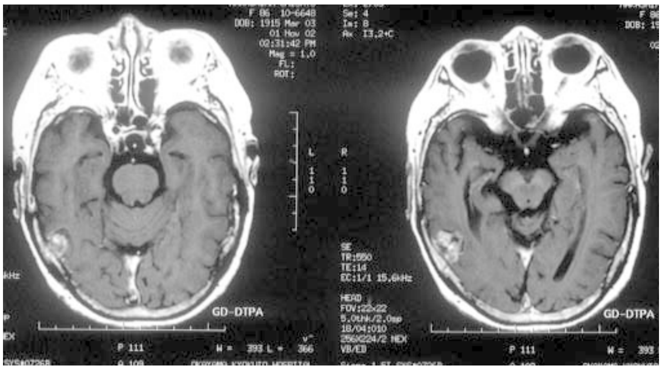
治療前　　18.8ml



1ヶ月後　　4.7ml



主病巣



3ヶ月後　　1.4ml

CK370

転移性脳腫瘍（乳癌）

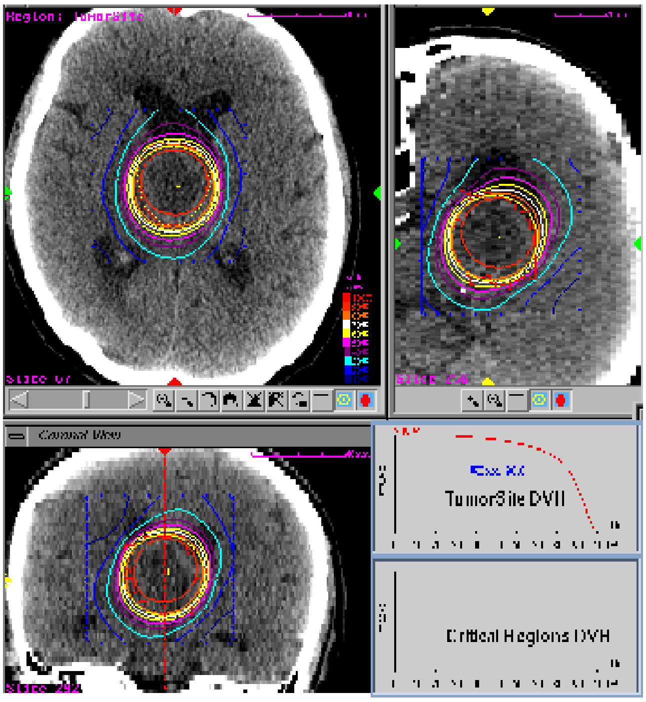
約10年前に髄膜腫の手術を受けた。1999年6月に意識消失発作の既往あり。この時の検査では脳腫瘍無し。1999年7月乳癌の手術を受けた。2000年12月5日頃より頭痛が出現し、紹介医を受診、MRIにて視床部に転移性腫瘍を認めるとのことで、サイバーナイフ治療へ紹介となり12月12日来院。

初診時、軽い左マヒ歩行であり、左手にも軽い麻痺があった。病室を間違えたり、他の人のベッドで寝たりなどの症状も見られた。

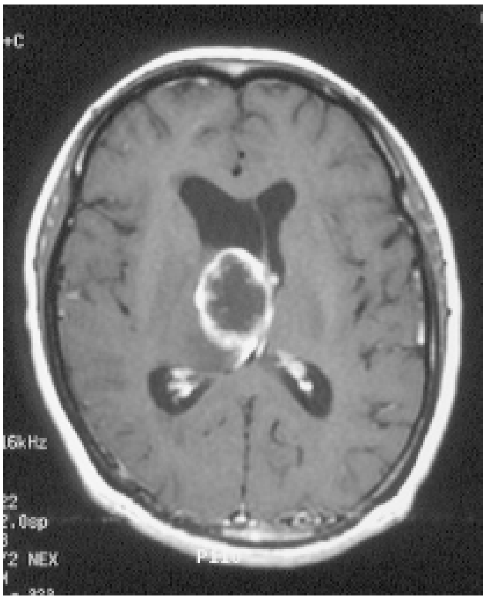
MRIにて右視床部の腫瘍は直径約3.5cmでcysticであった。この部は3分割で照射。左右の側頭葉、頭頂部にも小さな病巣あり、これらを各1回で治療した。

入院時より頭痛を頻回に訴え、鎮痛剤、グリセオール、副腎皮質ホルモン等を投与した。

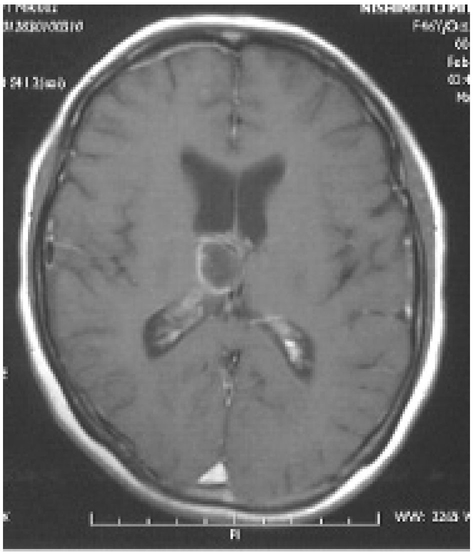
その後の画像検査にて治療した部分の腫瘍は縮小したが、約4ヵ月後のCTにて多発性の小さい腫瘍を認めた。これらは前回治療した場所とは異なる場所に出来ていた。この頃には腫瘍は全身に転移しており、再治療にはならなかった。 まもなくして昇天された。



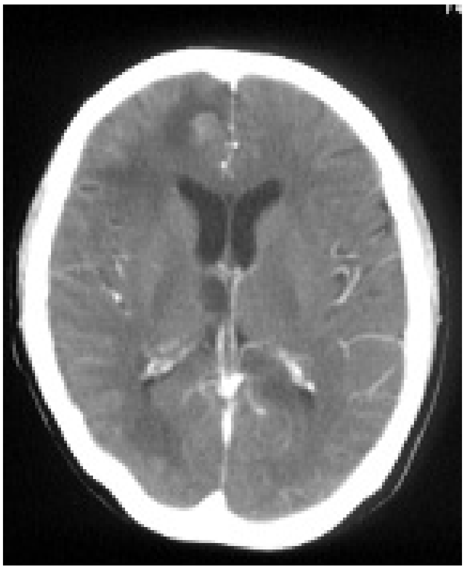
Max 53.4Gy　Marg34.6Gy　Min10.8Gy
3分割　　SRS（1回換算）22.2Gy



治療前



2ヶ月後



4ヶ月後

転移性脳腫瘍（肺癌）

61歳男性　1999年10月　左肺癌が見つかり、手術目的で某病院へ紹介となった。大動脈への浸潤が疑われたため、Induction Chemo Radiationを施行。肺癌は、Partial Remissionとなり、1999年11月25日左肺上葉切除とND2リンパ節郭清を行った。

2000年6月始め頃より物忘れが多くなり、喋りにくくなったため検査をしたところ右前頭葉に腫瘍が見つかった。

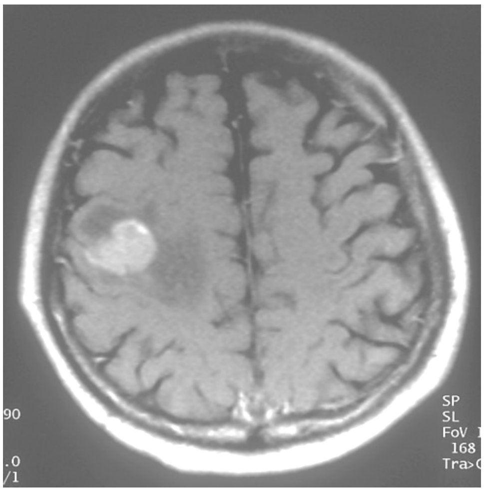
2002年6月26日サイバーナイフ治療の目的で当院へ紹介となり来院された。

外来での治療を希望されたので、7月3日に来院していただき、CT検査を施行。7月4日に治療となった。運動領に接近しており、前もってデパケンを服用していただいた。

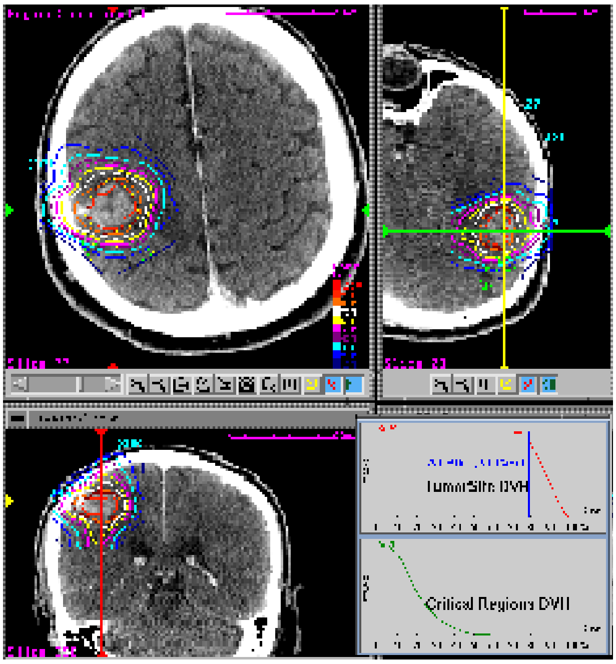
治療は著変なく終了、痙攣も起きてない。

6週後のMRIにて腫瘍縮小傾向有り、その後も次第に腫瘍縮小。

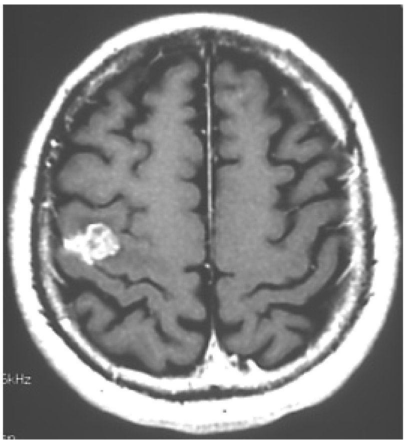
20ヵ月後のMRIにて、痕跡的に小さな造影を認めるが、再発は認めない。左手指のしびれ感と構音障害が後遺している。



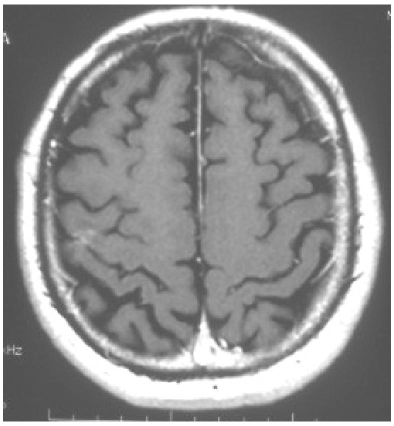
2002年6月21日（治療前）



D25.5mm Max29.1 Marg23.0 Min19.9Gy
2002年6月21日



2002年8月1日（6週後）



2004年2月3日

放射線壊死と思われる転移性脳腫瘍(肺がん)

2002年6月28日上腹部に不快感を自覚し内科で診察を受けたところ肺がんの診断を受けた。精査目的のMRI検査にて脳への転移も見つかった。化学療法を受け胸水は改善し、サイバーナイフのため当院へ紹介となった。

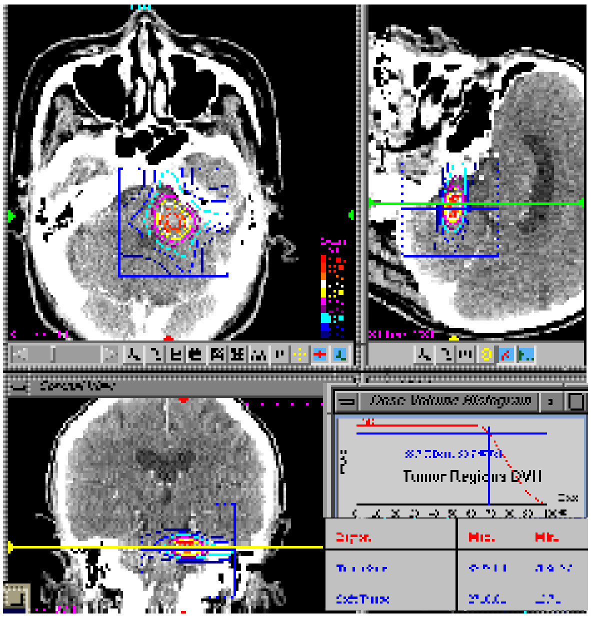
8月19日来院。腫瘍は約1ヶ月前のフィルムと比べて大きな変化はなかったが、小さいものを含めると10個あり、各1回で治療した。

2003年1月28日のMRIにて新しい腫瘍が出現しており、肺癌も再発を認めたため、イレッサの投与を受けたところ2月25日には新しく出来た腫瘍は消失し、Meckel腔後部の三叉神経の造影も消失した。

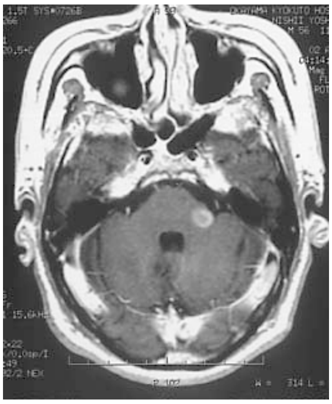
橋の三叉神経起始部に発生した転移性脳腫瘍について経過写真を提示する。

同図は治療2ヵ月後のMRIにて強く増強されるようになり、放射線効果が無かったかと思ったが、その後増大しないこと、新しく出来た腫瘍はイレッサで消失したのに、この部は他の腫瘍と違ってイレッサにも反応しないなどより壊死に陥っているものと考えている。

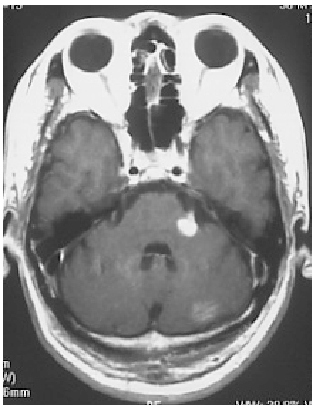
2004年03月　多発性骨髄転移のため他界された(脳腫瘍の再発・増悪は認めなかった)。



V:1.3ml　D:13.7mm　Max 33.0Gy
Marg 22.7Gy　Min 20.9Gy



2002年08月19日(治療前)



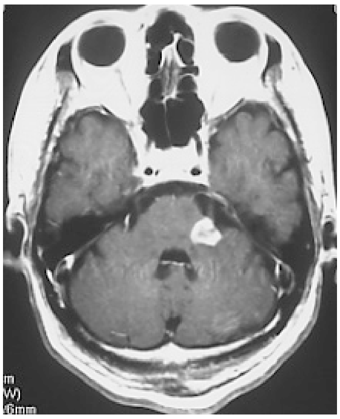
2002年10月31日

2002年09月11日

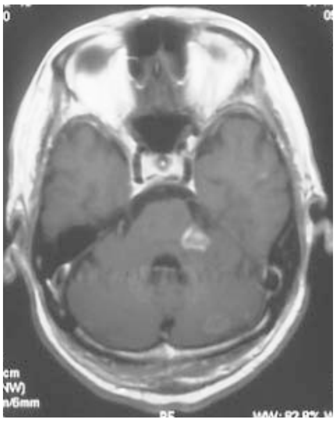
2003年01月28日
(イレッサ投与前)

2003年02月25日
(イレッサ投与後)

2003年05月30日



2003年06月26日



2003年09月12日
(治療約1年後)

CK688

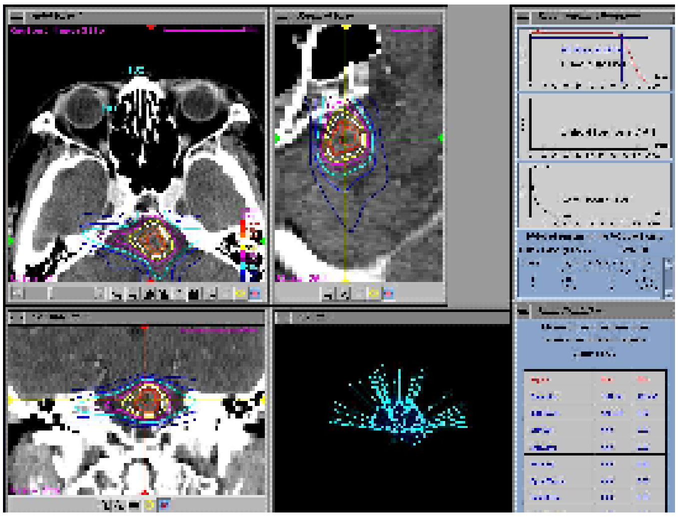
転移性脳腫瘍（肺癌）

77歳　女性　　1998年8月　老人健診にて、胸部XPで肺癌が見つかったが、積極的な治療を希望されず、経過を観察していた。

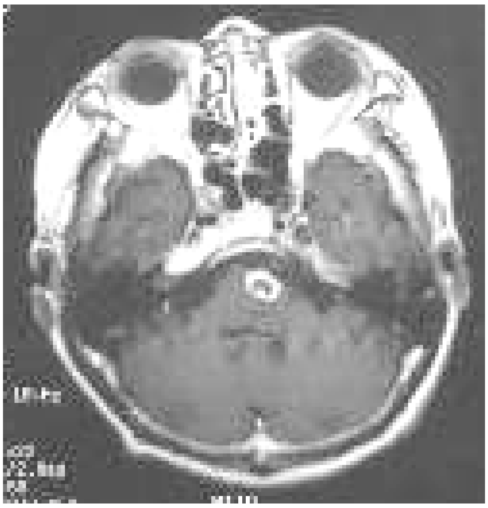
2001年4月に精査目的で行った頭部MRI検査にて、橋にリング状に造影される病巣を認めた。画像上の所見や肺癌の既往より転移性脳腫瘍と考えた。組織は不明であるが、放射線治療を希望され来院された。

脳神経麻痺などの局所症状は認めなかった。

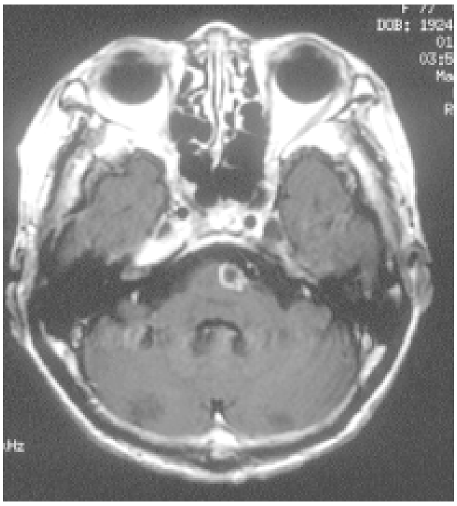
治療は橋への影響を考えて3分割治療とした。治療後、腫瘍は次第に縮小の傾向を認めたが、約9ヶ月後に肺がん悪化にて死亡された。



辺縁26.4Gyを3分割。　SRS 17.8Gy相当



治療前



治療　6ヶ月後

髄膜腫

髄膜腫に対する定位放射線治療は、ガンマナイフでの小林の治療成績の報告[C1]によると、腫瘍が50％以上縮小する例は8％程度と少ないが、 93％で増大が抑制されており、髄膜腫に対する定位放射線治療は増大抑制を主目的とした照射となると記されている。

海面静脈洞部の髄膜種では、腫瘍体積が50％以下にまで縮小する例は11％程度であり、腫瘍体積は平均で約23％縮小しており他の部位よりやや効果が良い [C1] 。

Convexityの髄膜腫特に矢状静脈洞近傍の髄膜腫は照射後に腫瘍周囲に浮腫を生じる例が多いと言われており、この部の照射には注意を要する。

髄膜腫の中で、定位放射線療法の良い適応は頭蓋底部の髄膜腫とされている。頭蓋底部の髄膜腫では、腫瘍が脳幹や視神経などの重要組織に接していたり、腫瘍内部に神経や血管が入り込んでいたりで手術が困難であり、手術を行えば種々の副作用が想定される例が多いが、髄膜腫に対する通常の治療線量にて定位放射線療法で末梢神経麻痺を生ずる危険性は高くないこともあり、定位放射線療法を選択する場合が増えてきている。

視神経に接近している場合などは線量や分布に慎重な配慮が必要である。

髄膜腫に対する1回治療（SRS)の場合では、通常辺縁線量を14～18Gyに設定している。

LQモデル[C2，3] によると、髄膜腫などの増殖の遅い腫瘍では、正常組織とα／βが近似しており、分割照射を行う意義が少ないかと思われるが、定位放射線治療にLQモデルがそのまま適応できるかどうかに対する疑問もあり、直径3cmを超える腫瘍に対しては3～5分割で治療を行っている。周囲に重要組織があるかどうかなども総合的に判断して線量を決めている。

C1)ガンマナイフ治療 −長期治療成績− 小林達也編
メディカ出版 p72
C2)直線加速器による定位放射線照射の理論と実際
編集 柴田尚武 白土博樹 平岡眞寛
医学書院 p18-24
C3)The linear-quadrantic formula and progress in fractionated radotherapy。
Fowler JF Br J Radiol 1989; 62:679-694

小脳橋角部髄膜腫

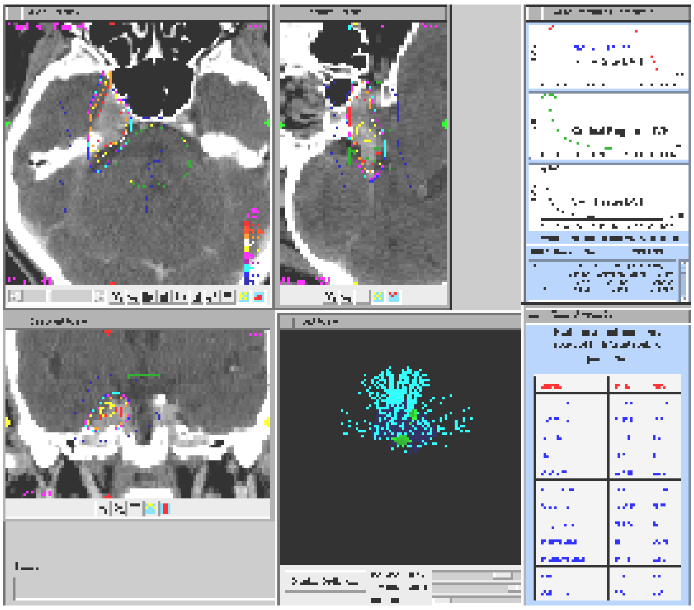
1997年12月頃から顔面の痛みが出現したが、テグレトールの内服等で改善していた。

2000年2月より再び痛みが出現、テグレトール増量にても改善せず、MRI検査を受けたところ腫瘍が見つかった。

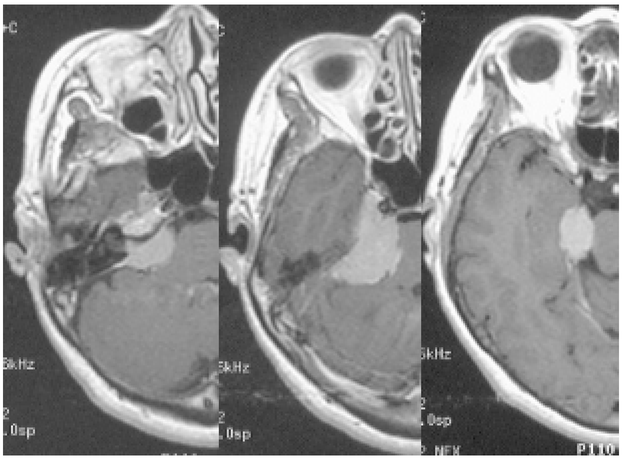
2000年4月13日当院初診。4月17日手術。Meckel's cave 部分の腫瘍は副作用を考慮し摘出しなかった。

6月1日残存腫瘍に対し最大線量22.1Gy 辺縁線量18.1Gy を2分割 SRS(1回治療)換算14.1Gy相当にてサイバーナイフ治療をおこなった。

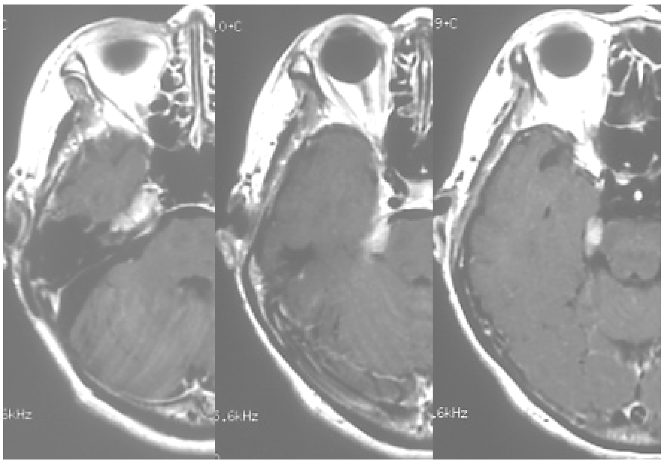
32ヶ月後のMRIにて腫瘍はやや縮小(最大面積にて約27%減少)しており副作用は出て無い。顔面の痛みは消失している。



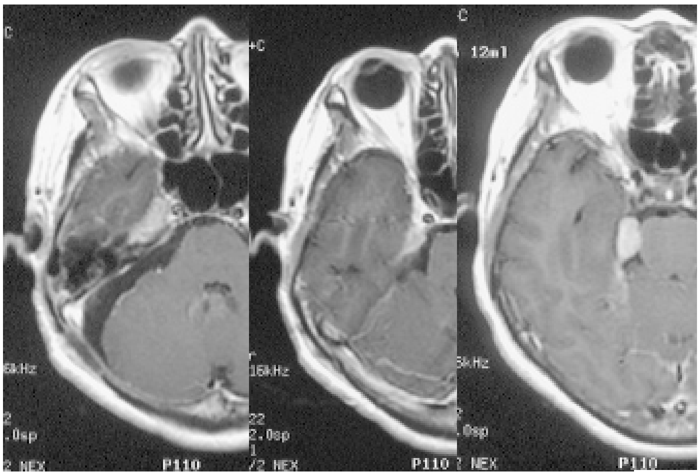
最大22.1Gy 辺縁18.1Gy を 2分割(2日)にて照射 SRS(1回治療換算)14.1Gy相当にて治療



2000年04月15日
初診時のMRI （手術前）



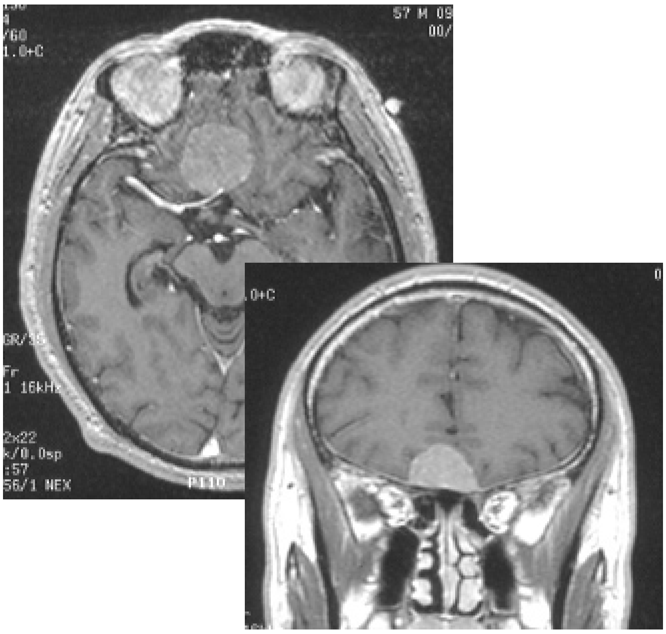
2003年01月14日 14x 7mm S73%



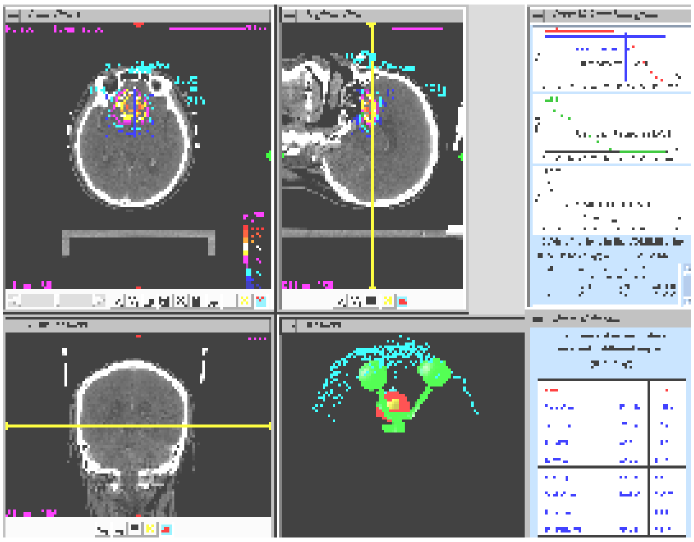
2000年04月21日
（サイバーナイフ治療前） 15x 9mm

前頭蓋底髄膜腫

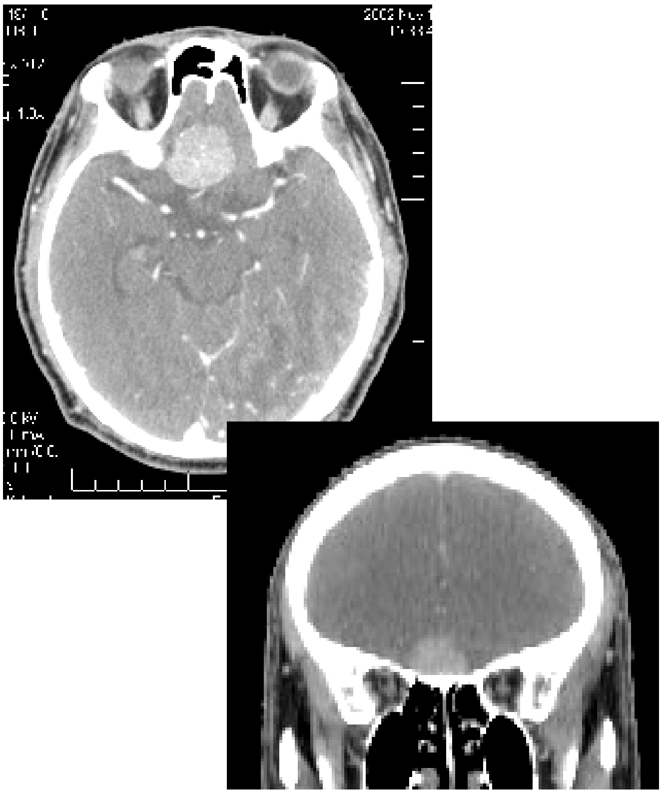
1970年にH病院で頸椎腫瘍の手術。
2000年3月より頭重感が出現し、MRI検査にて脳腫瘍が見つかった。4月13日当院へ精査目的で入院されたが手術は希望されず、サイバーナイフ治療の方針となり一度退院。
2000年7月4日5日と2分割にてサイバーナイフで治療をおこなった。
2002年11月のMRI検査で、髄膜腫のサイズに変化なし。



2000年06月14日　MRI　　30x30mm



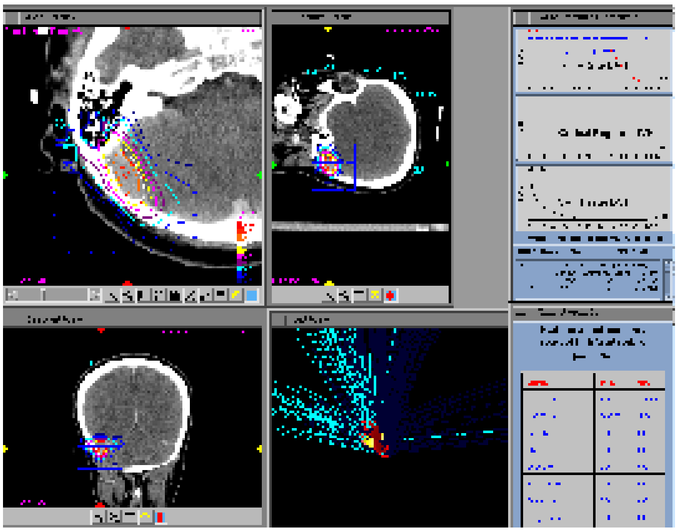
2000年7月4-5日　2分割治療
D26.2　V9.37　Max23.5　Mag15.6　SRS12.4
D:腫瘍直径換算(mm)　V:腫瘍体積(ml)
Max:最大線量(Gy)　Marg:辺縁線量(Gy)
SRS: α / β =10にて一回治療に換算した線量（Gy
)



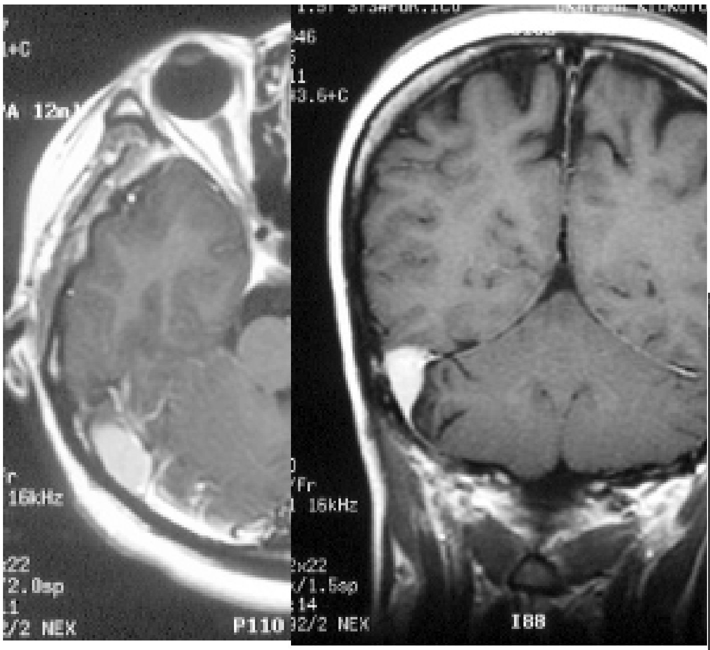
2002年11月14日　CT　　30x30

横静脈洞部髄膜腫

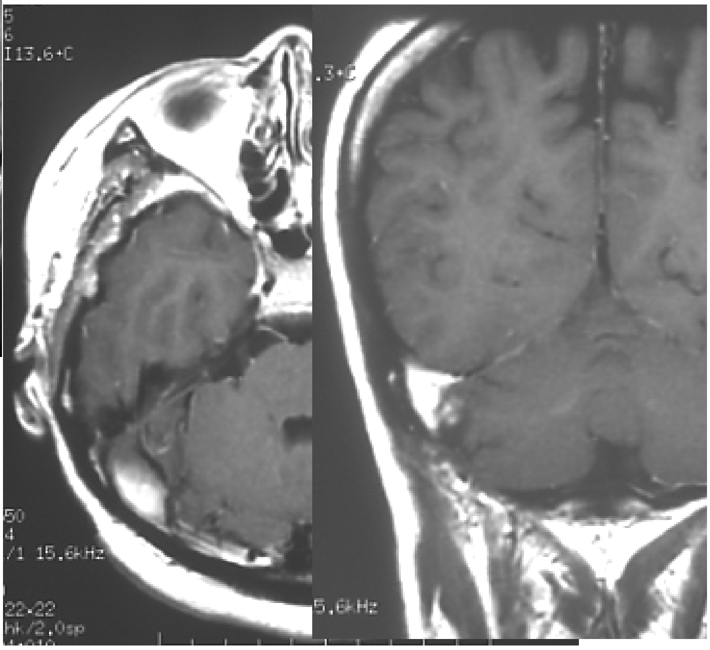
1998年9月14日頭痛のためN病院を受診。MRIにて髄膜腫と診断。
9月16日当院初診。10月10日手術。腫瘍付着部は電気メスで焼却した。
2000年6月26日のMRIにて腫瘍の再発有り、サイバーナイフ治療の方針となった。
8月4日最大線量 33.9Gy 辺縁線量 21.5Gy SRS（1回治療）にて治療した。
治療に伴う合併症は無し。
約32ヶ月後のMRIにて腫瘍最大径部の面積で約50%まで縮小している。 副作用なし。



最大33.9Gy 辺縁21.5Gy SRS治療



2000年06月26日
サイバーナイフ治療前のMRI



2003年03月07日 約32ヵ月後のMRI
腫瘍の最大径部での面積が約50%に縮小している。

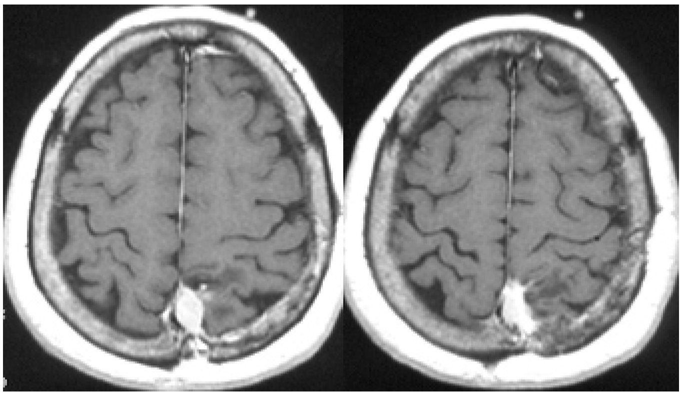
傍矢状静脈洞部髄膜腫

1998年秋頃より頭痛を自覚するも放置。1999年1月頃より起床時に右上下肢に5-10分しびれを自覚する様になった。3月になりM医院を受診し、MRにて腫瘍を指摘され、当院を受診された。

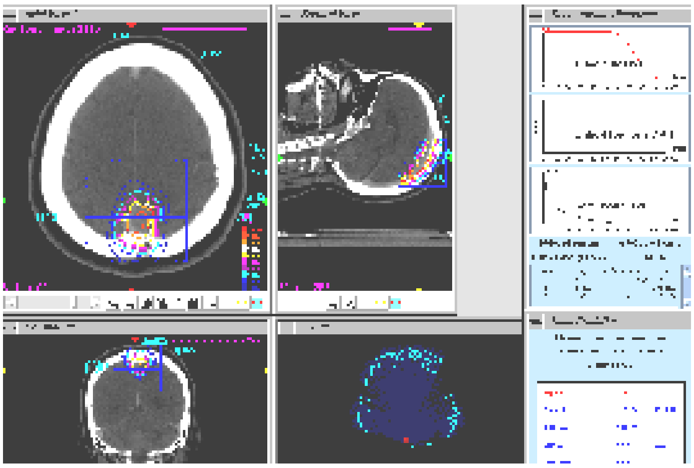
1999年3月18日手術。Transitional para-sagittal meningioma であり、亜全摘となった。術後経過は問題なかったが、残存腫瘍に対して、2000年9月5日SRS（1回治療)にてサイバーナイフ治療を行った。腫瘍体積6.98ml （直径換算で23.7mm） 最大線量31.5Gy 辺縁線量20.2Gyで治療した。11月1日MRIでやや縮小している。

2001年1月10日ﾌｫｰｸﾀﾞﾝｽをしていて左下肢が動き難くなり転倒したことがある。3月26日MRIにて腫瘍の前方部分に浮腫出現。腫瘍部分の造影も増大し、ステロイド開始。

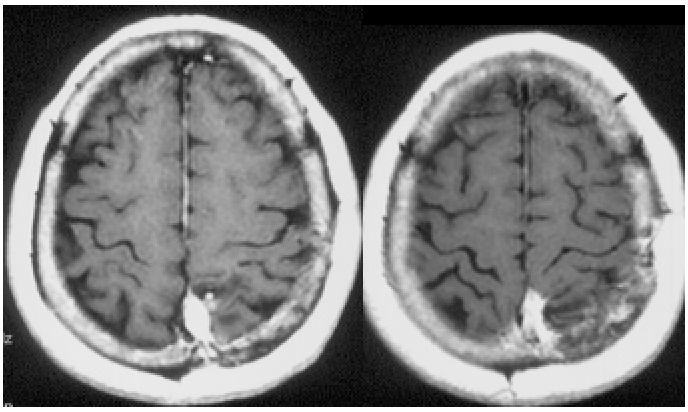
2002年12月2日浮腫は軽減したが、腫瘍前部に脳萎縮あり。反対側に腫瘍新生を認め経過観察中。



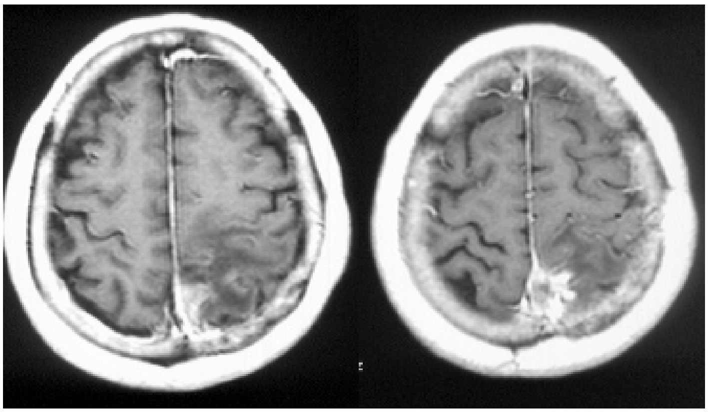
2000年09月04日　治療前日12x19mm



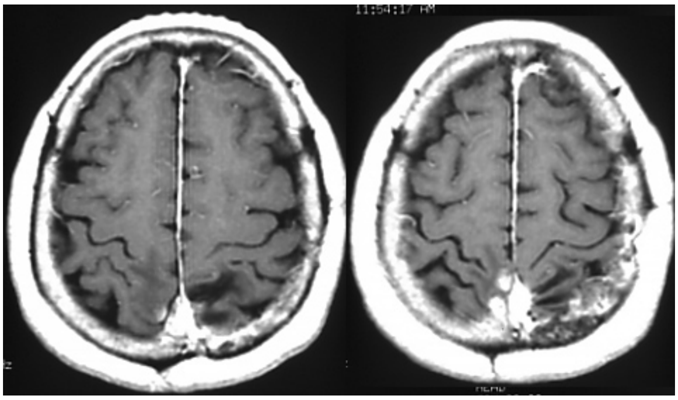
Max31.5　Mar 20.2　 D23.7　 V6.98



2000年11月01日　2ヶ月後　11x19mm



2001年03月26日　　6ヵ月後　　22x22mm
腫瘍の前部に浮腫出現

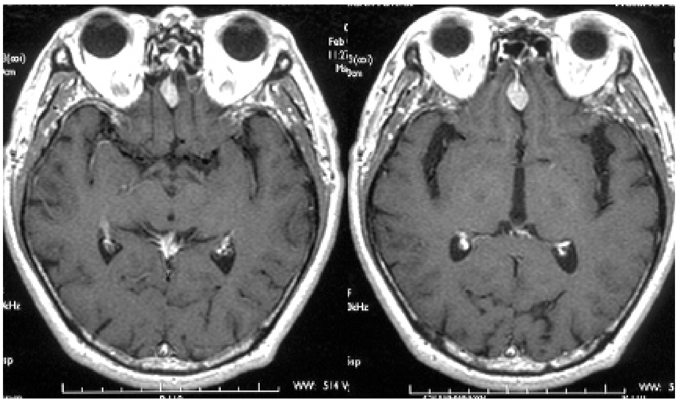


2002年12月02日　10x14mm
最大面積が61％に減少したが治療と反対側に小さな腫瘍が新しく出来ている。

嗅神経溝部髄膜腫

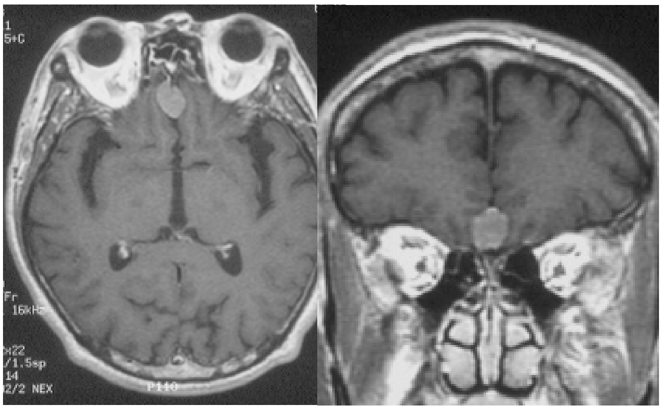
2000年5月16日後頭部の違和感、ふらふら感、嘔吐等のため近医でMRI検査を受けたところ腫瘍が疑われ、当院へ来院された。

MRIではolfactory grooveの髄膜腫と思われる。サイバーナイフでの治療を希望されたので2000年10月19日　SRS(1回治療)にて治療した。 V3.2　D18.3　Max30.3Gy Margin 18.8Gy (腫瘍の組織は確認できてない)
2001年11月8日が最終来院。この時点で、嗅覚は保たれており、腫瘍はその最大部の面積が約42%となっており、縮小と判定した。

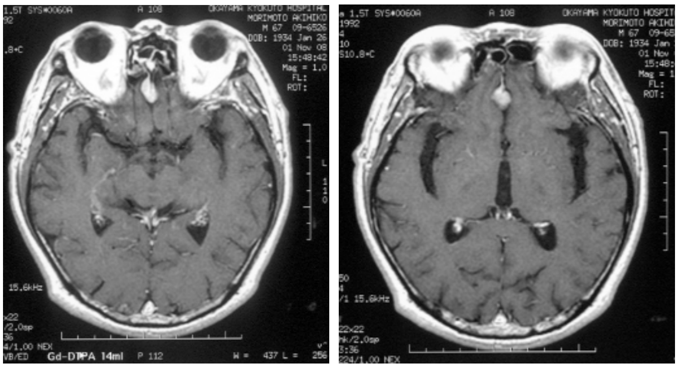


2001年02月01日

V:腫瘍体積(ml)　D:腫瘍直径(mm)
Max:最大線量　Margin:辺縁線量

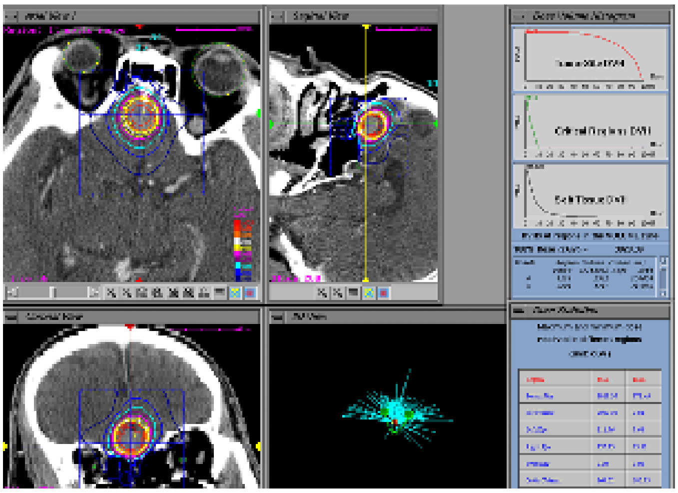


00/10/18　19x14



2001年11月08日　　14 x 8　S42%

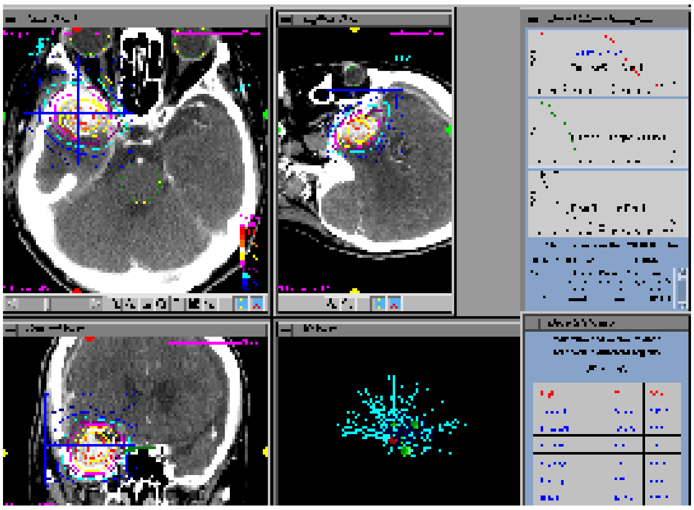
S：腫瘍最大部断面での面積



D18.3 V3.2 Max30.3Gy Margin 18.8Gy(組織なし)

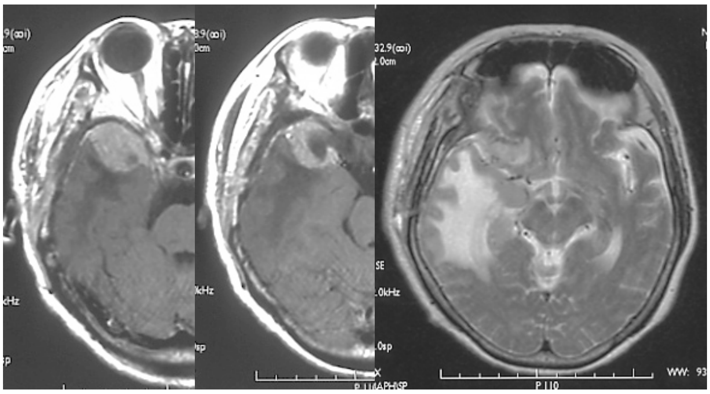
側頭葉先端部髄膜腫

1982年頃全身痙攣の既往あり。
2000年10月Y病院でCT検査を受けたところ、右蝶形骨縁に腫瘍あり。髄膜腫と診断された。手術目的で11月15日当院へ入院。11月20日開頭腫瘍摘出術施行。腫瘍は非常に硬く、摘出困難であり残存髄膜腫に対してサイバーナイフ治療となった。
サイバーナイフ治療は2000年12月6日より三日間で3分割治療をおこなった。治療線量等は Vol 12.2ml Diam 28.5mm Max42.1Gy Marg 25.1Gy SRS換算17.0Gyであった。
2001年5月始めから歩きにくくなり、その後少し症状が進行。自転車に乗っていて転倒したため6月27日来院。CTにて右側頭葉の浮腫が強くなっており、内包にも広がっていたため約2週間入院し、グリセオール、ステロイドの投与を行い、症状改善。浮腫もやや改善し退院。
2002年12月25日のMRIではまだ浮腫が強く、腫瘍もわずかに増大している。
2003年4月16日右足がおかしいとの訴えがあるが、歩行などは問題なし。プレドニン7.5mg内服中にて満月様顔貌である。

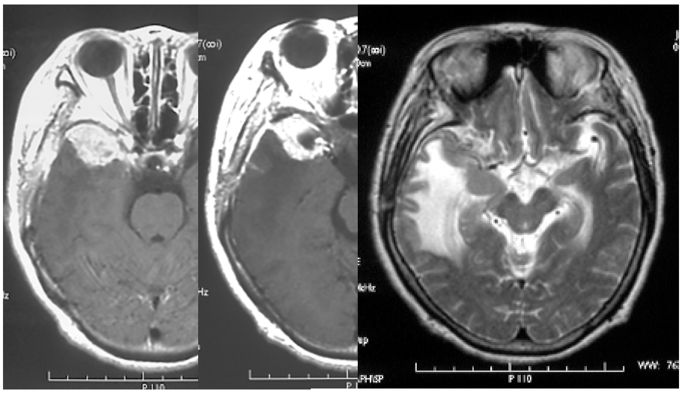


3Fr SRT V12.2 D28.5 Max42.1 Marg 25.1
SRS17.0

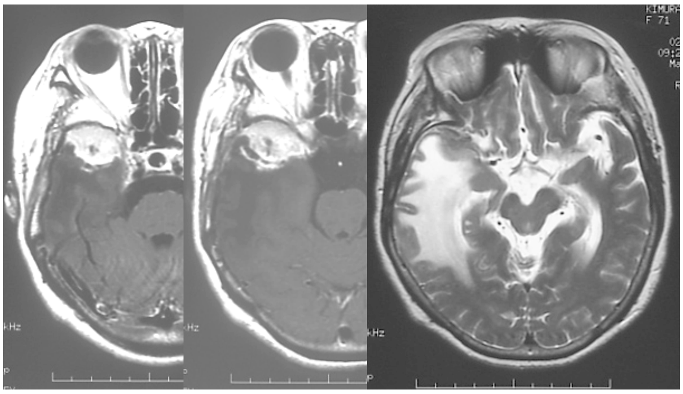
Fr:分割 SRT:Stereotactic Rasiation Therapy(分割治療)
V:腫瘍体積(ml) D:腫瘍直径(mm)
Max:最大線量(Gy) Marg:辺縁線量(Gy)
SRS:1回治療換算線量(Gy)



2000年11月25日 治療前 30x20mm
すでに側頭葉に浮腫有り



2001年01月10日 30x20mm 1ヶ月後 側頭葉の浮腫変化なし。



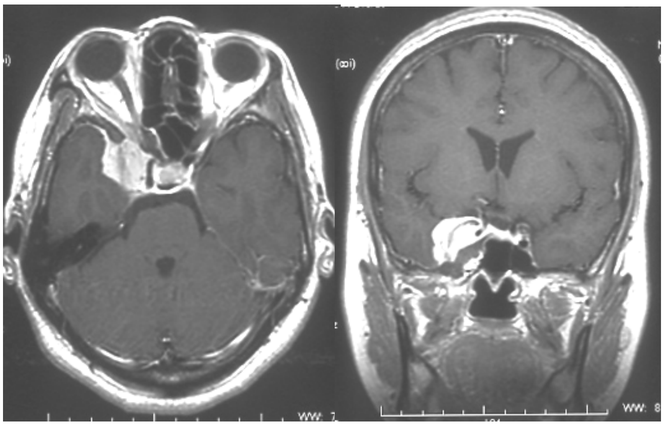
2002年12月25日 腫瘍32x20mmとやや増大
浮腫も増強している。 副腎皮質ホルモン内服中。

海綿静脈洞近傍髄膜腫

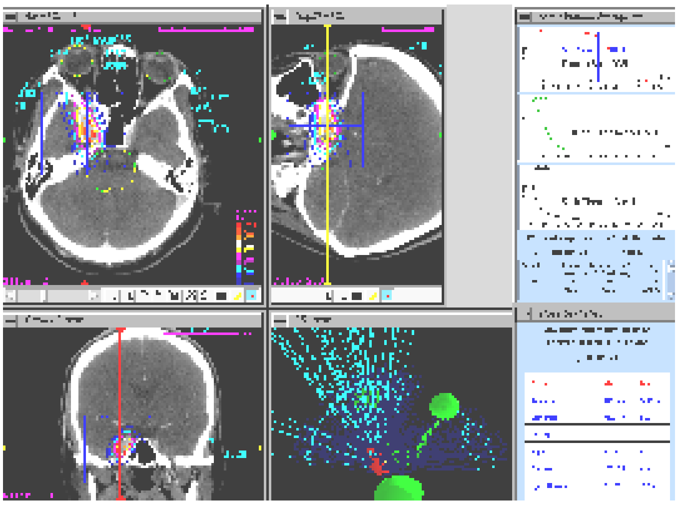
2000年9月頃から右視力低下を自覚、眼科を受診し、下半分の視野欠損を指摘され、11月21日当院へ紹介となった。MRIにて右海綿静脈洞部に腫瘍有り、12月14日入院、18日手術。組織は髄膜腫であった。硬膜内の腫瘍のみを摘出。部分摘出に終わったためサイバーナイフ治療を追加となった。

2000年12月27日－28日の2分割にて治療。D19 V3.6 Max41.5 Marg23.4 SRS18.1相当（α / β ＝10）その後著変なく経過。

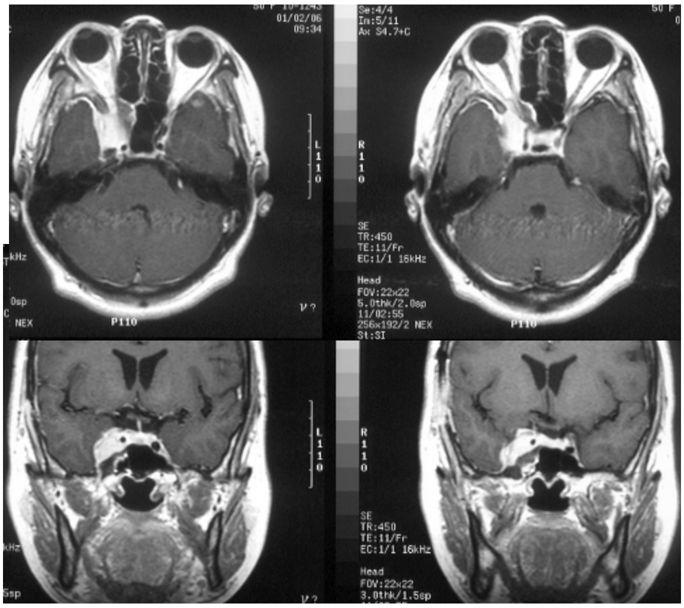
最大断面での面積で比較すると、腫瘍は約1ヵ月後に72％、約6ヵ月後には52%まで縮小している。



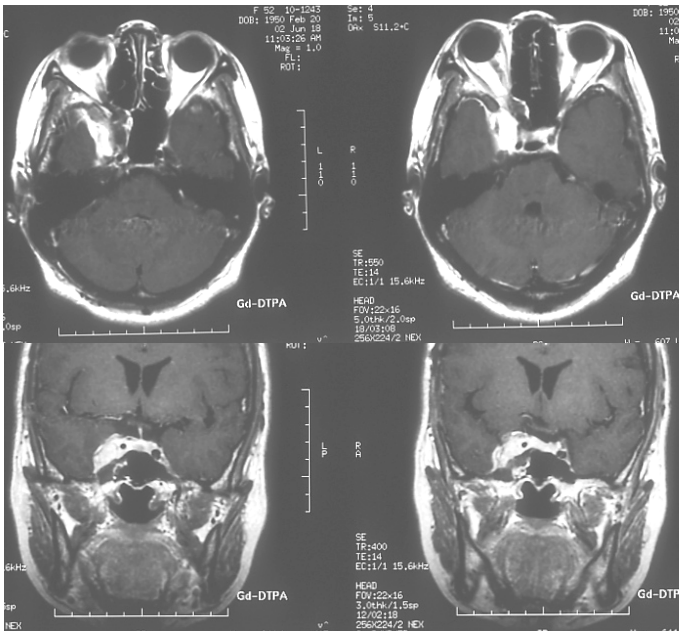
2000年11月28日　治療前のMRI
最大面（冠状断）にて腫瘍は　29x18mm



D19 V3.6 Max41.5 Marg23.4 SRS18.1相当



2001年02月06日　冠状断 27x14mm　S72%



2002年06月18日　冠状断 25x11mm S52%

髄膜腫（2回治療例）

1999年11月2日話し方や動作が緩徐となった。頭部CTにて左前頭葉に脳腫瘍あり。12月1日手術。Malignant Meningiomaであった。2000年8月18日のMRIでは再発無し。2001年1月16日の頭部CTにて腫瘍の再発を認めたため,当院へサイバーナイフ治療の目的で紹介となった。

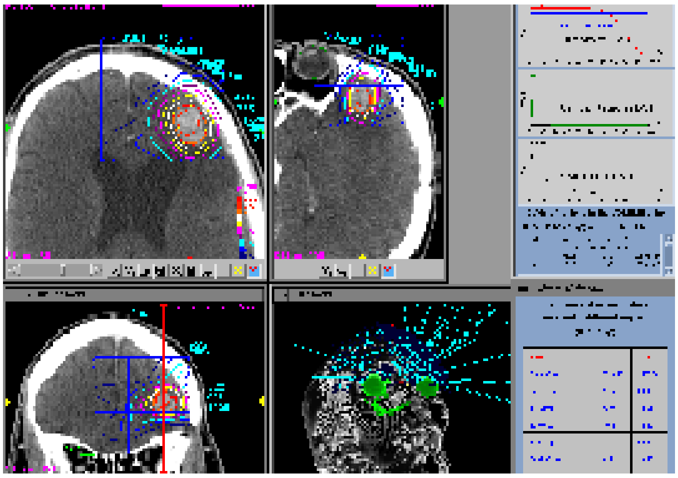
2001年2月7日より9日まで3分割　D21.0 V4.8 Max53 Marg34.9 SRS22.9 にて治療した。

外来で経過観察していたが、左前頭葉の病巣は一度縮小したものの徐々に再増大。Thallium SPECTでhotだが、wash outは良好で髄膜腫のパターンに合致すると判断した。

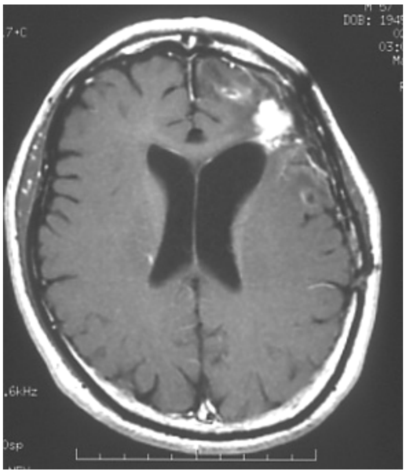
本人に状況を説明し2002年10月9日から11日まで二回目のCyberKnife治療となり、同じ部へ3分割 D22.9 V6.3 Max41.4 Marg35.1 SRS23.0 にて治療した。

2002年11月11日のMRIでは腫瘍縮小し問題なかったが、2003年2月27日のMRIにて照射部にRing状の不整な造影を認める。放射線壊死を疑い経過観察中である。

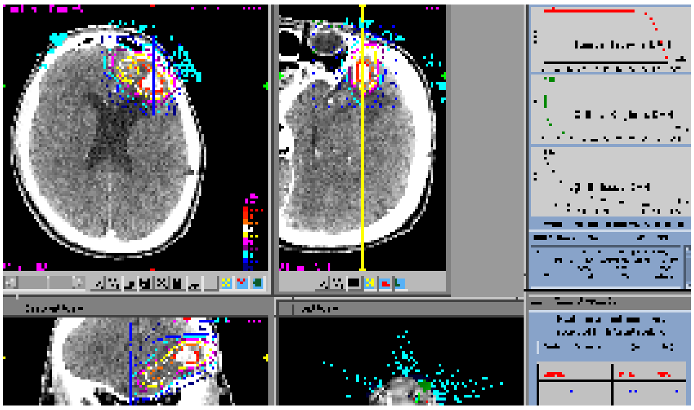
2001年2月7日　初回治療時のCT



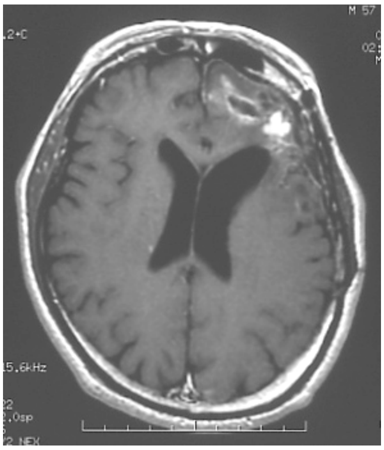
2001年2月7日より9日まで　3分割



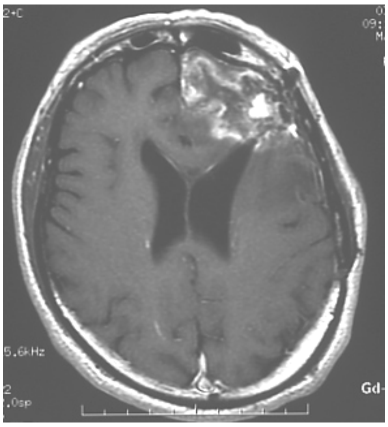
2002年10月9日　2回目治療時の造影MRI



2002年10月9日から11日　まで二回目治療（3分割）



2002年11月11日　腫瘍縮小



2003年2月27日　壊死と考え経過観察中

CK0193　CK0745

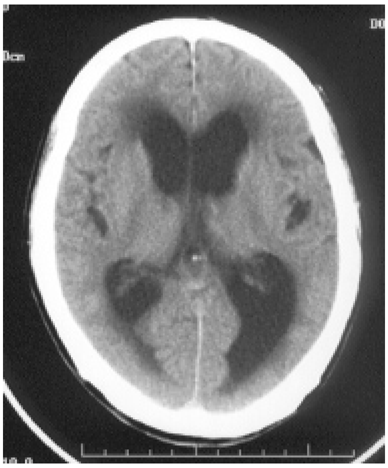
照射後に水頭症・慢性硬膜下血腫を合併した髄膜腫

74才男性　右動眼神経麻痺と右三叉神経領域の知覚異常あり。MRI等にて右斜台後部に髄膜腫と思われる腫瘍有り。

2001年1月29日サイバーナイフでの治療となった。組織検査は出来てない。 3分割　D23.5 V6.8 Max51.5 Marg27.9 SRS18.8 にて治療した。

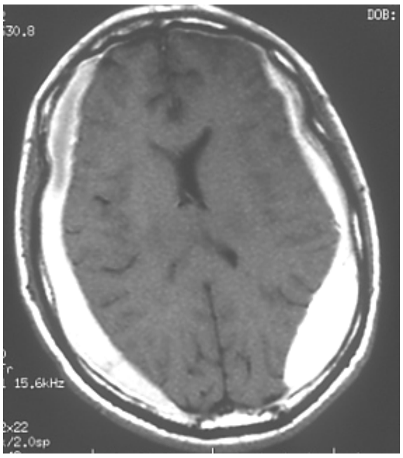
照射後約3ヶ月で水頭症を合併、シャントを行ったところ両側慢性硬膜下血腫を合併し穿頭血腫除去手術を行った。

2003年1月20日のMRIでは、腫瘍は縮小、脳室もほぼ正常で、慢性硬膜下血腫も消失している。

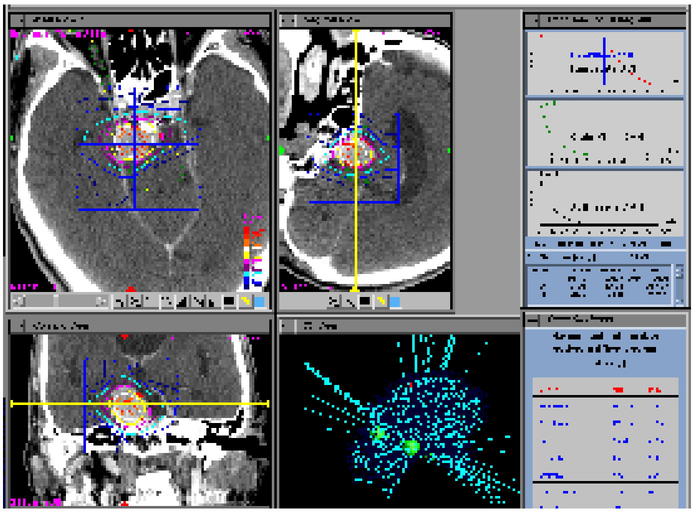


2001年04月29日　　シャント前日

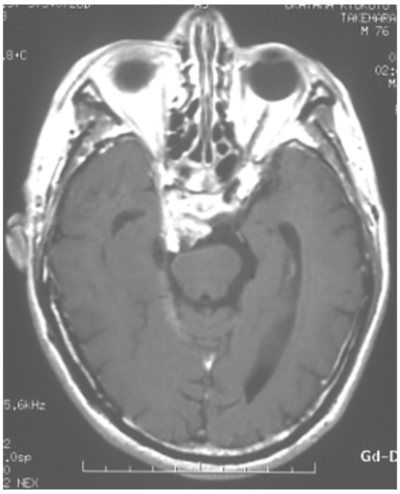
2001年01月29日　23x12mm



2001年07月12日　　慢性硬膜下血腫



3分割　V6.8ml　D23.5mm
Max51.5Gy Marg27.9Gy　SRS18.8Gy相当



2003年01月20日　19x10mm
S69%

脳ドックで発見された斜台髄膜腫

約5年前（1996年2月9日）に当院にて脳ドック検査を受けたが、このときには著変無しと説明を受けた（ Retrospectiveにフィルムを見ると、直径1-2mmの腫瘍を認める ）。

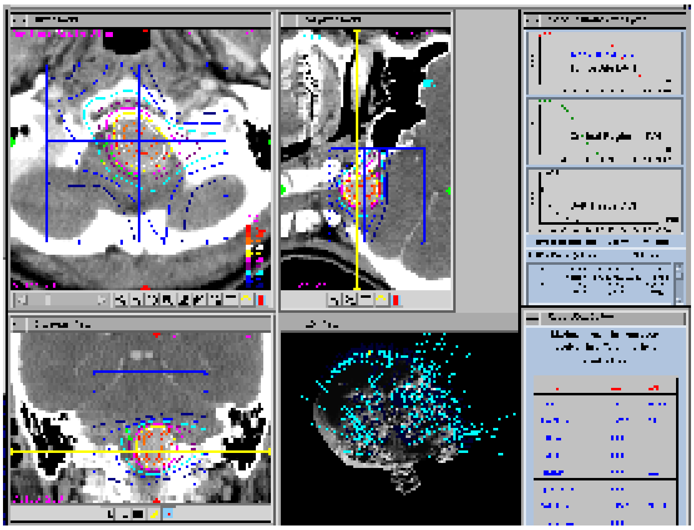
2001年3月6日脳ドックの再検査を受けて、斜台左後部に髄膜腫と思われる腫瘍が発見された。神経症状は全くない。

MRIにて脳幹を圧迫する所見有り。放置すると神経症状が出現する可能性が有ることや手術・サイバーナイフによる効果・副作用などを説明したところサイバーナイフ治療を希望された。

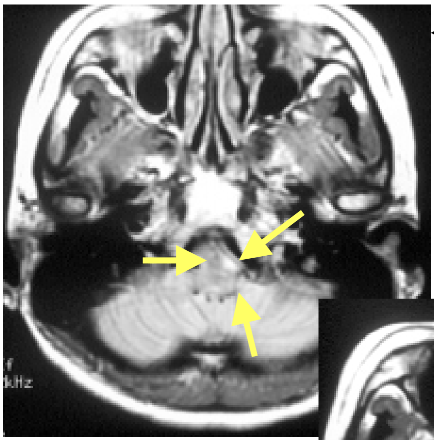
2001年3月28-30日3分割治療　D23.4　V6.7 Max29.4 Marg 17.4 SRS 12.2　組織なし。

治療後合併症無く経過。

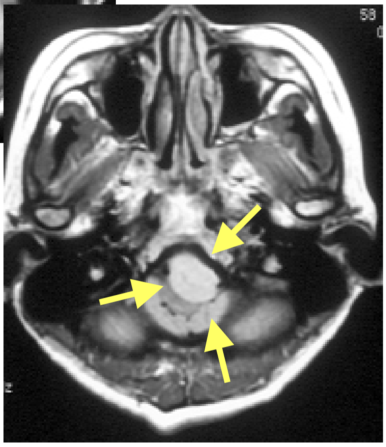
2003年3月27日最終フィルムでも浮腫などは認めない。腫瘍はやや縮小している。



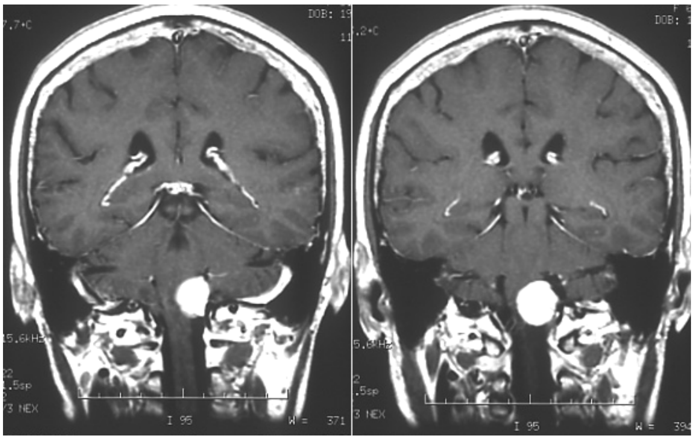
3分割。D23.4 V6.7 Max29.4 Marg 17.4 SRS 12.2



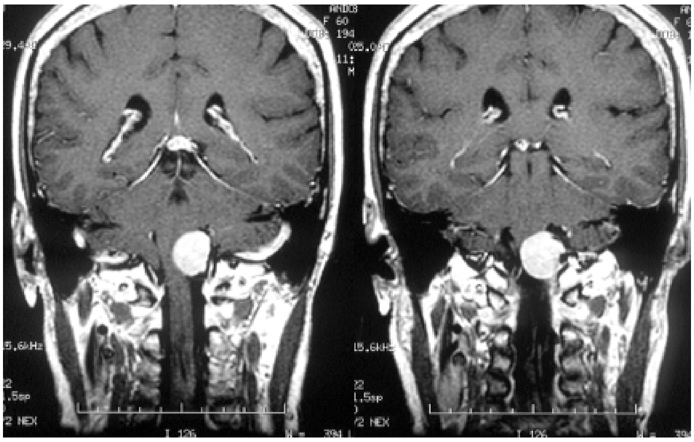
1996年のMRIでは腫瘍を指摘出来なかったが、小さな腫瘍らしき陰影有り。



2001年3月
斜台部に腫瘍あり



2003年3月27日　治療後19ヶ月
21x20mm　S87%

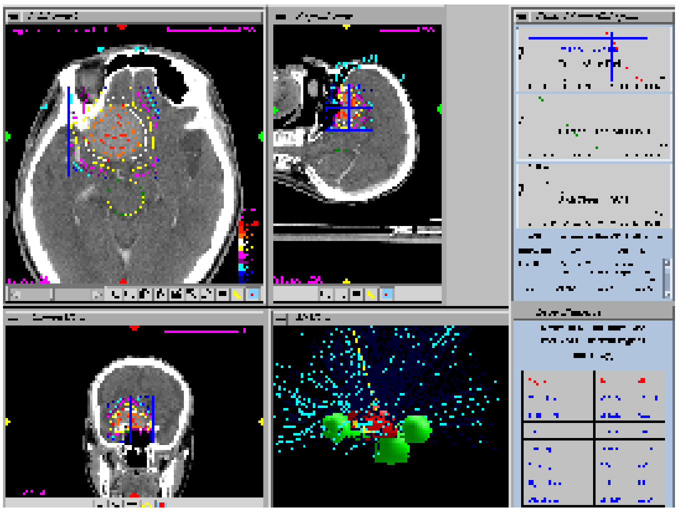


2001年3月28日　23x21mm

CK0238

高齢でも増大した髄膜腫

1998年2月3日のMRIでは腫瘍の直径は約2cmだったとの事であるが、フィルムは入手できなかった。



3分割　D36.6 V25.8 Max28.7 Marg20.0 SRS13.9

1998年2月3日某医院にて直径2cm程度の脳腫瘍を指摘された。83歳と高齢であり、経過観察をすすめられた。某医大でも同様の意見を聞き、経過観察を指示されたが放置されていた。

2001年4月頭痛のため、他の医院を受診し、MRI検査を受けたところ直径約4cmの腫瘍を指摘された。以前に腫瘍があると説明された場所であり、蝶形骨縁髄膜腫腫瘍が増大したものと考える。

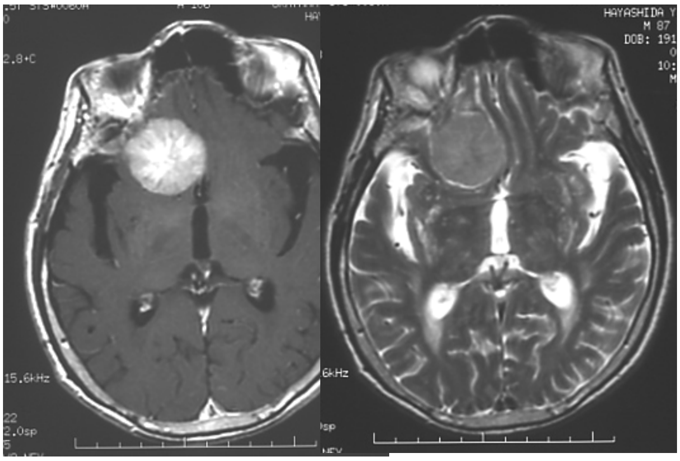
2001年4月7日当科入院。手術も検討したが、86才と高齢であり、Poor medical conditionのためCyberKnife治療となった。

2001年4月17日より19日まで3分割にてD36.6 V25.8 をMax28.7 Marg20.0 SRS13.9 相当にて照射。

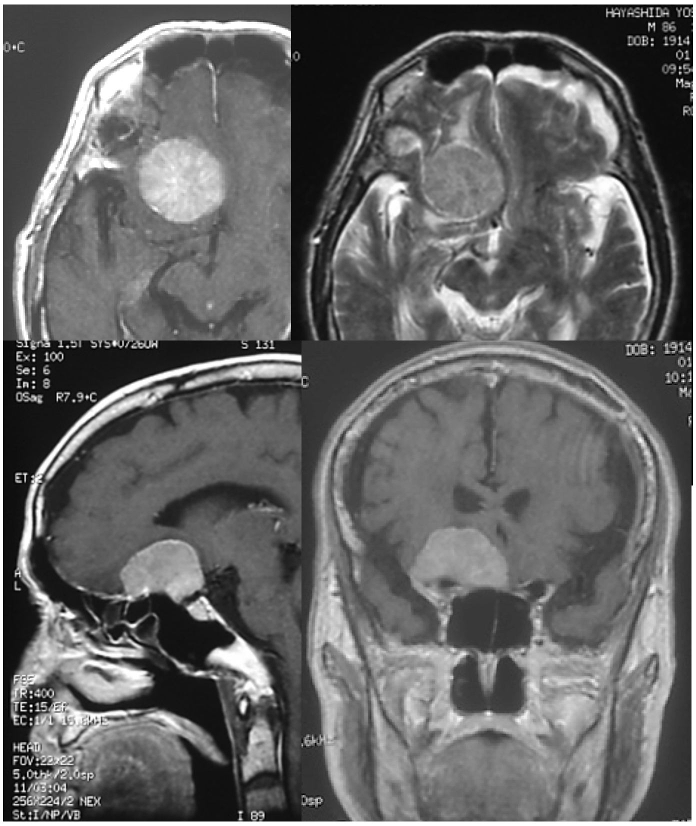
2001年5月慢性硬膜下血腫を認めるも自然寛解（転倒の既往有り）。

2002年3月13日MRIにて腫瘍サイズ不変。浮腫などの合併症なし。

転院されたためその後の経過は不詳である。



2002年1月



2001年4月　31x34mm

2002年4月
30x31
S88%

CK0252

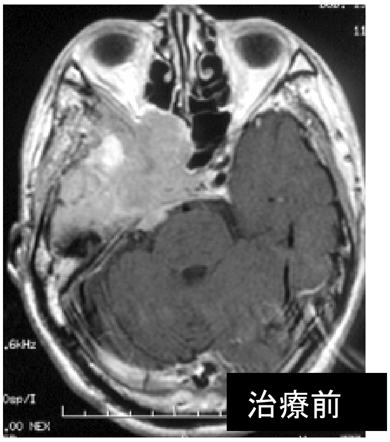
上顎洞に進展した髄膜腫

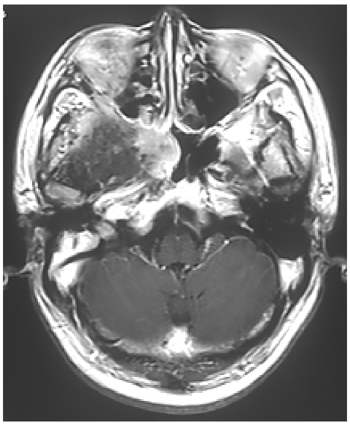
1989年ころより頭痛あり。1994年健康診断で瞳孔不同（右瞳孔散大）を指摘された。2000年11月4日K病院を受診し、蝶形骨縁髄膜腫との診断を受けた。12月8日腫瘍部分摘出。その後経過観察のCT等にて腫瘍が増大するため2001年7月20日、21日F病院でガンマナイフにて2分割で治療するも上顎部に伸展した腫瘍に放射線照射が出来ないため当院への紹介となった。9月3日治療計画を作成。ガンマナイフ治療後視野視力が改善し、右眼矯正で0．8程度見えるとのこと。今回の照射野は視神経とは離れているので、視神経に対する影響は少ないと考える。

治療は副作用なく終了したが、2002年1月14日頭痛のためMRI検査を施行。右側頭葉に浮腫を認め、治療開始。右側頭葉の浮腫は2004年4月にもなお続いておりプレドニン10mg/日内服中。腫瘍はコントロール出来ている。右眼瞼下垂あり。

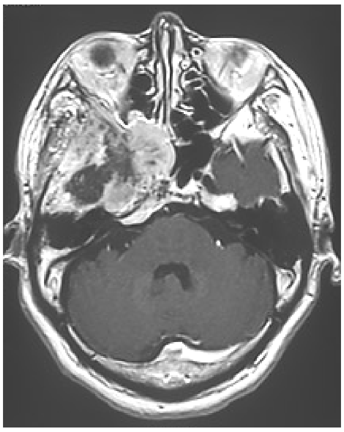
2002年2月

2002年2月

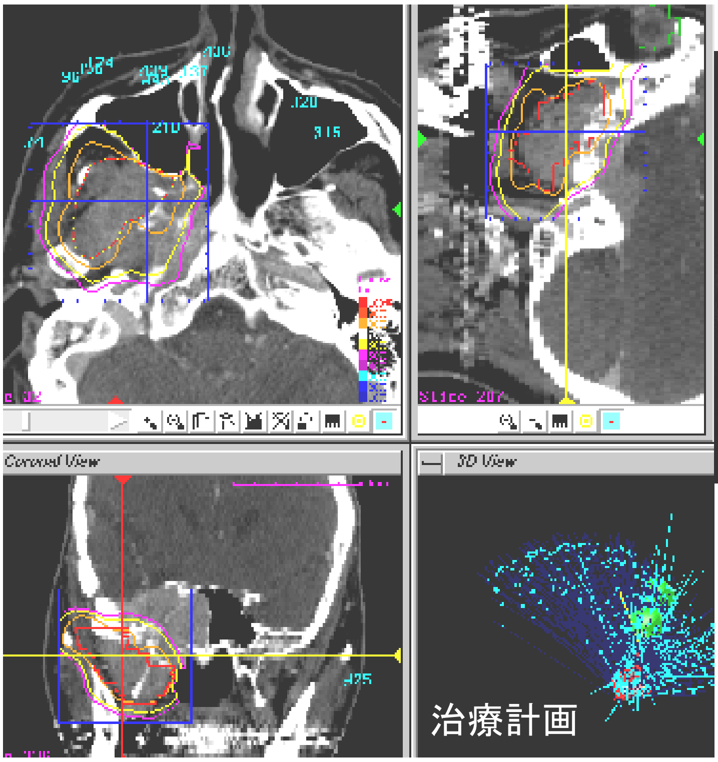




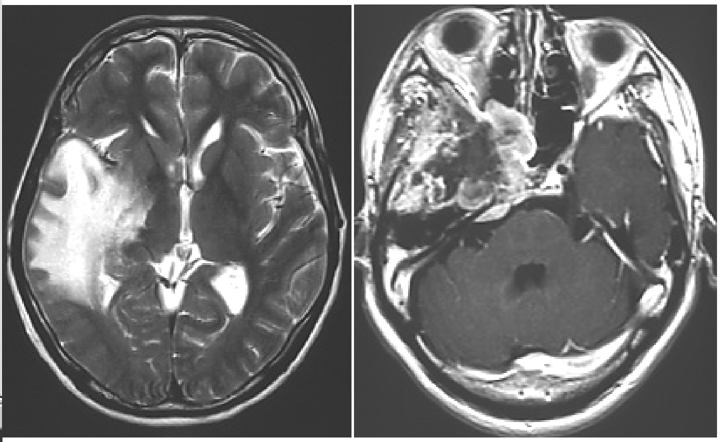
2002年8月



2002年9月



D 28.2mm　Max 25.8Gy　Marg 21.1Gy
Min 18.35　3Fr　SRS 14.6Gy



2004年4月　浮腫強い

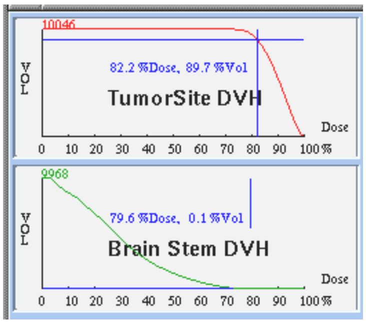
斜台部髄膜腫

2001年6月ふらふら感のためMRIの検査を受けて斜台部の髄膜腫を指摘された。腫瘍は左斜台から左海綿静脈洞部に広がっている。7月24日当院初診。

患者様の都合にて10月22日入院治療となった。その間腫瘍の増大なし。

内頚動脈の狭窄などの副作用を極度に心配されるため、辺縁線量を14Gy（SRS相当）とした。照射後悪心や嘔吐が出現したが、それ以外の急性期副作用はなし。

経過観察のMRIにて腫瘍の増大なし。浮腫などの副作用も出てない。

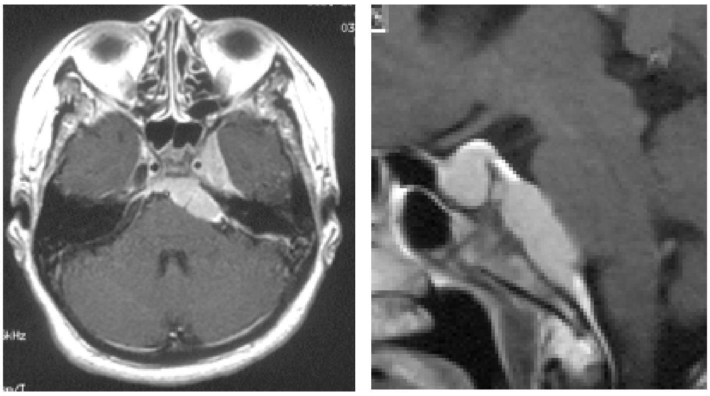


線量カーブ

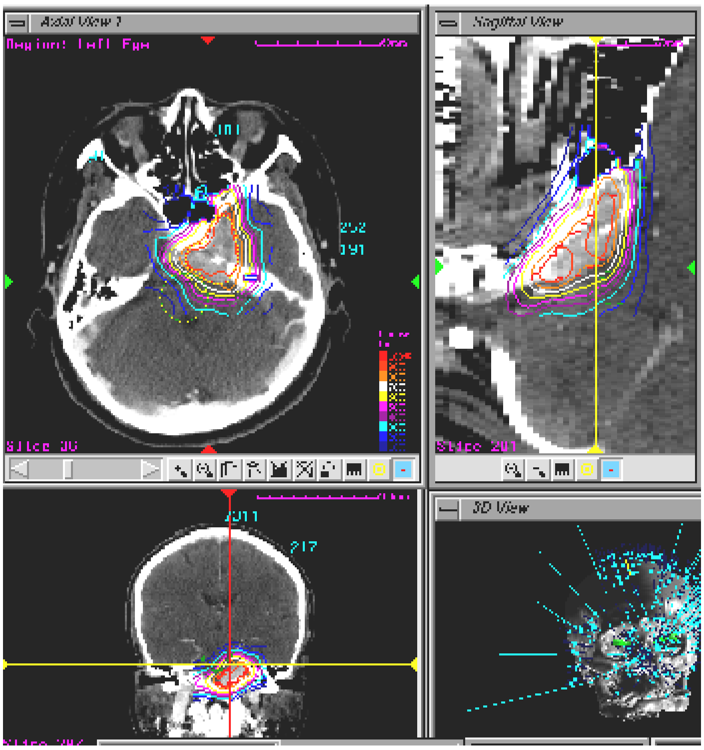
Maximum and minimum dose received in different regions (unit: cGy)

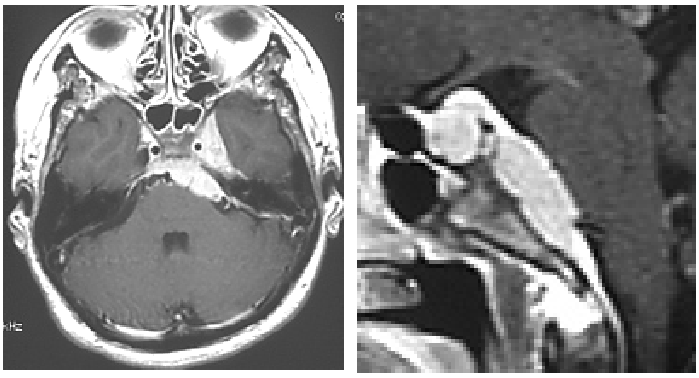
Region	Max.	Min.
TumorSite	3002.79	2102.06
Soft Tissue	2938.61	20.91
Left Eye	629.82	196.47
Right Eye	10.35	6.92

線量値

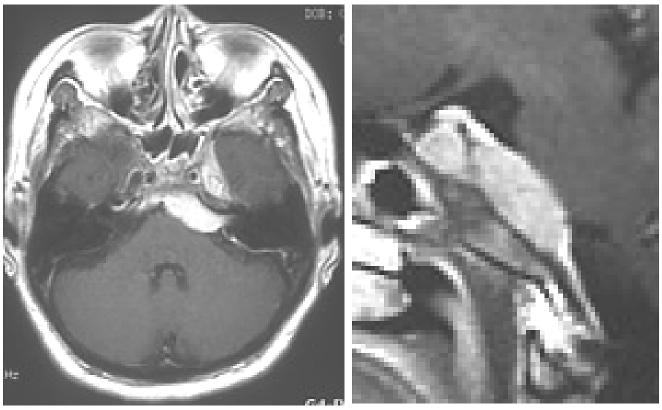


2001年10月22日　治療前





2002年01月11日　3カ月後



2003年06月18日　20カ月後

D26.8mm　Max 24.6　Marg 20.3　3Fr　SRS 14.1

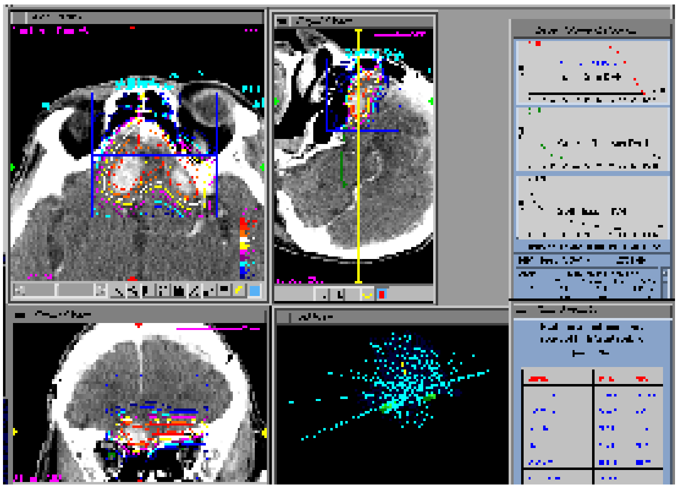
傍矢状静脈洞部髄膜腫

前頭蓋底の髄膜腫(Olfactory groove meningioma)にて約5年前(1995年12月)に当院で手術。組織はmucinous meningiomaであった。

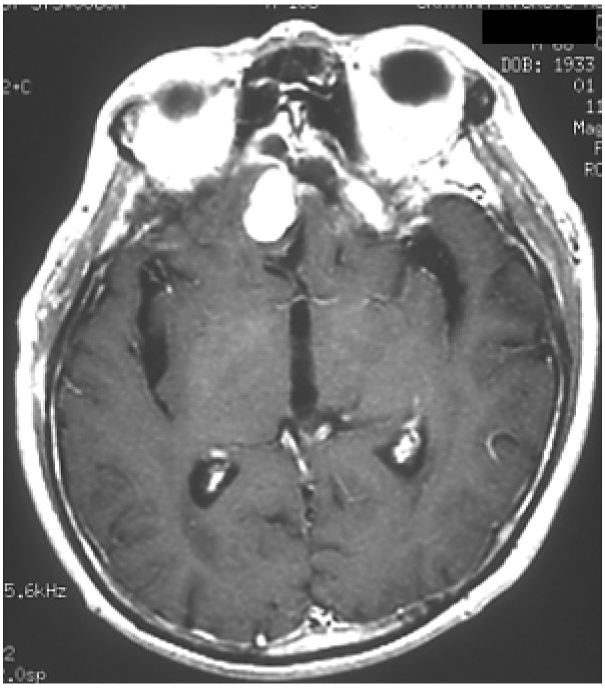
術後の経過は良好であったが、2001年9月25日競艇場で倒れ、検査にて再発が見つかり2001年10月10日再摘出術をおこなった。腫瘍はやわらかく容易に吸引出来たが、再手術後のMRIにて腫瘍の残存あり、2001年11月1日サイバーナイフで治療となった。

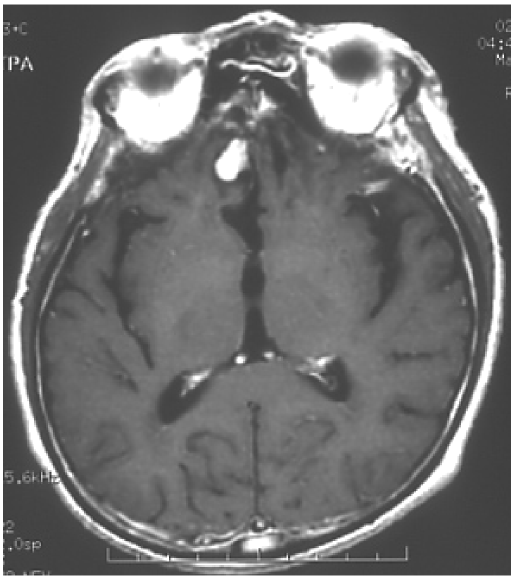
D25.4 V8.6 に対しMax27.0 Marg20.4 にて1回治療(SRS)にて治療した。

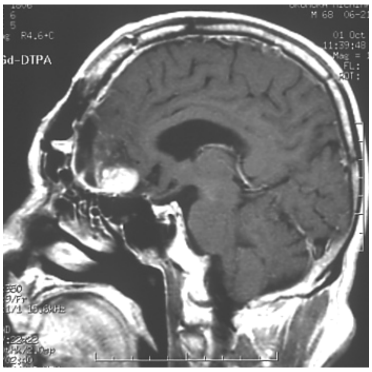
2002年8月27日のMRIにて腫瘍は縮小している。副作用無し。

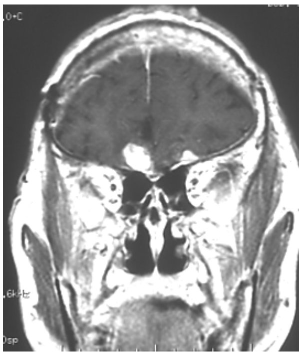


D25.4 V8.6 Max27.0 Marg20.4

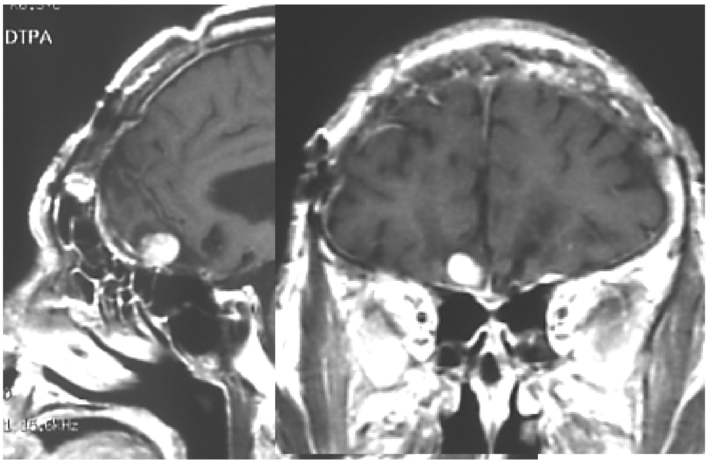








2001年10月26日 再手術後残存腫瘍 Sag 20x13

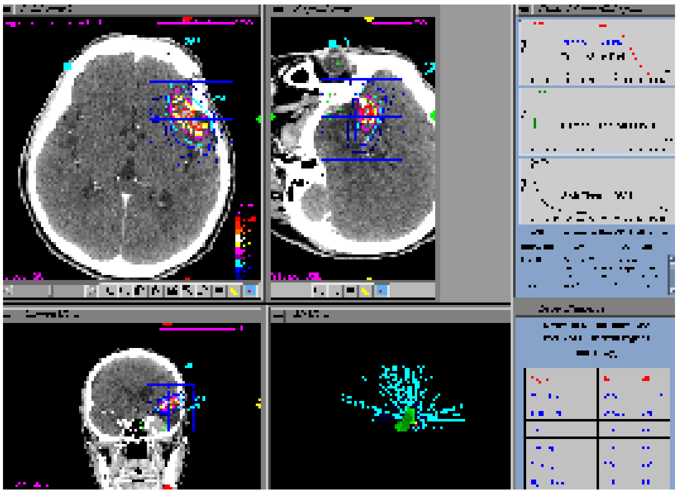


2002年08月27日 Sag 13x11 S55%

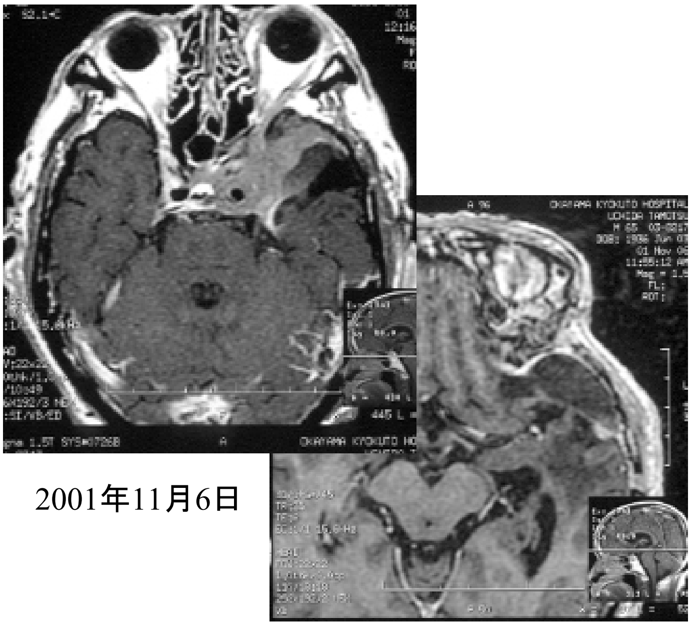
傍矢状静脈洞部髄膜腫等

1999年2月9日　左蝶形骨縁髄膜腫で本院にて開頭腫瘍摘出術を実施。その後問題ないも2001年9月の経過観察のためのMRIで残存腫瘍の増大を認めた。症状に悪化なし。11月6日入院。Main mass へは2001年11月7日から9日まで3分割 D32.8 V18.5 Max28.8 Marg 23.4 3frSRT SRS16.0　又、左蝶形骨縁 の高い位置に残存している腫瘍もあり、これにはMax23.0 Marg16.1 SRSで治療した。治療中少し嘔気はあったが他に問題なく経過。

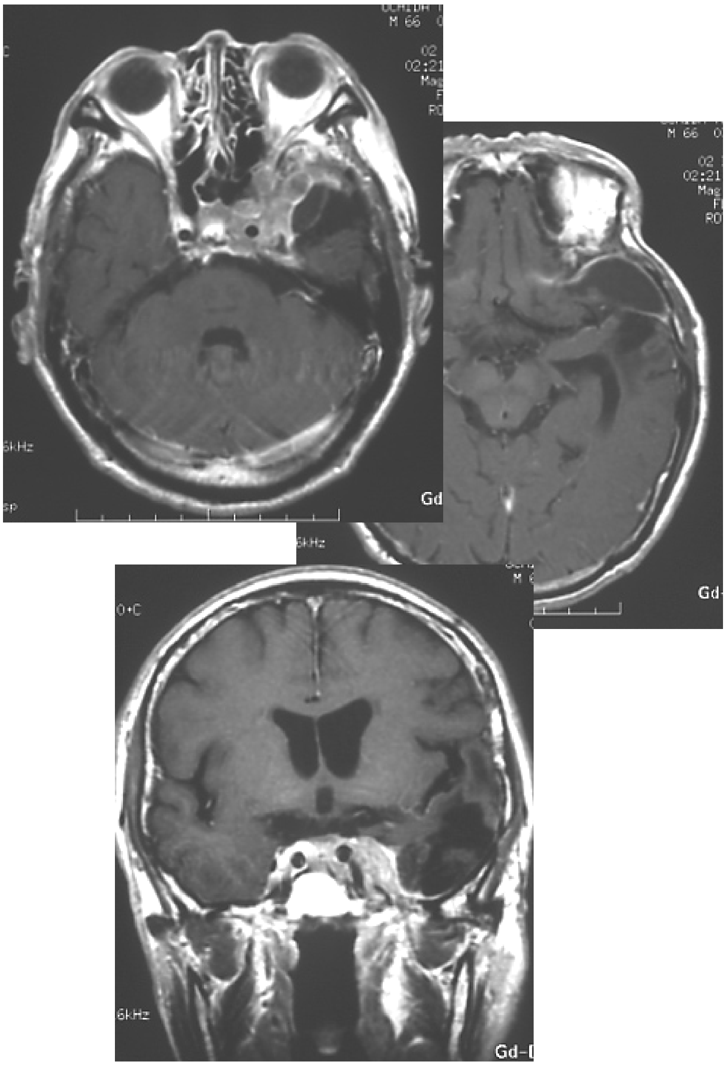
2002年12月10日のMRIにて主腫瘍のサイズ等は不変。小さい腫瘍は消失している。

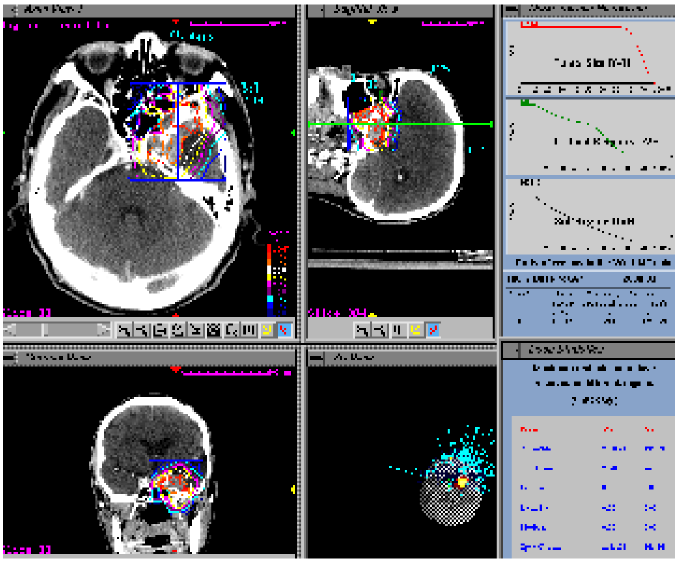


Max 23.0Gy Marg 16.1Gy SRS



2001年11月6日





D32.8 V18.5 Max28.8 Marg 23.4 3frSRT

2002年12月10日 小腫瘍は消失　主腫瘍は不変

S(腫瘍最大径部面積)100%

斜台部髄膜腫

51歳女性　2001年10月中旬からめまいと頭痛が始まり、K病院を受診した。MRIにて腫瘍が見つかり2001年11月14日当院を受診された。

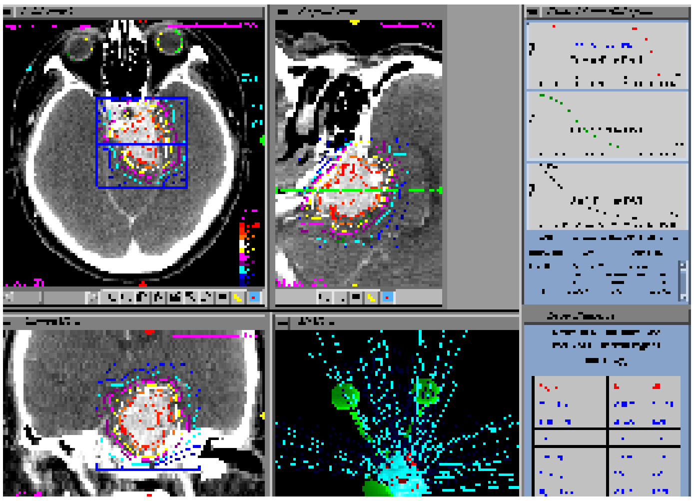
腫瘍が脳幹部を圧迫しており、手術にて出来るだけ減圧の後Cyber Knifeの方針となった。

11月19日入院時、左聴力障害、左小脳症状、緩徐な言語、左下肢の不随意運動(ミオクローヌス)がみられた。 MRI では斜台から錐体骨にそって、cyst を有しGd造影を示す腫瘍が脳幹を圧迫していた。水頭症を伴っていた。DSAでは左内頚動脈のmeningo-hypophysial trunkをmain feederとする腫瘍造影をみとめた。 以上より、"lt. spheno-petroclival meningioma" と診断した。

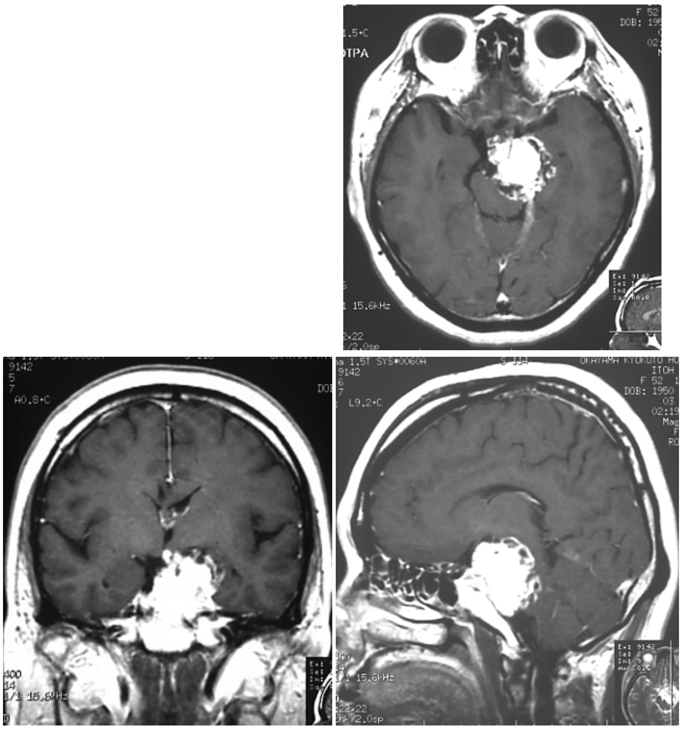
2001年11月26日 後頭蓋窩開頭にて手術。腫瘍 は硬く易出血性であり、部分摘出に終わった。組織は menigothelial meningiomaであった。術後８日目に反応が悪く、立位も保持できなくなり、CT検査をおこなったところhydrocephalusが増悪していたため、12月５日 VP-shuntを施行した。Shunt後これらの症状は改善した。

2001年12月17日から12月21日まで5分割にてサイバーナイフ治療をおこなった。（Max 30.0Gy Marg 25.0Gy 5fr SRS15.0）

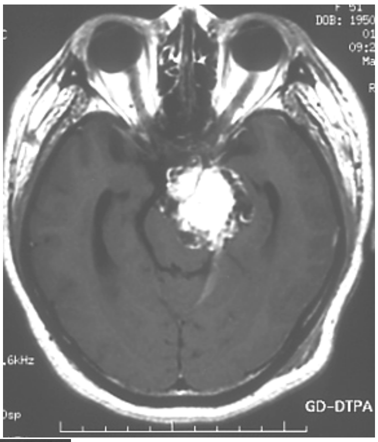
入院時の症状はほぼ消失し、12月21日退院となった。

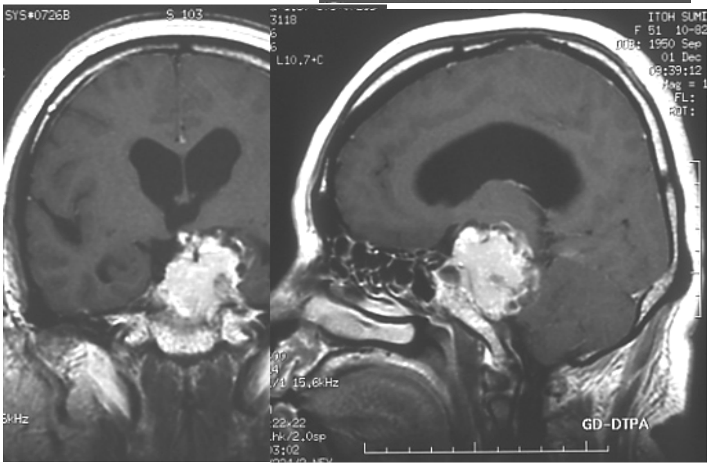


Max 30.0Gy Marg 25.0Gy 5fr　SRS15.0Gy相当



2003年03月27日　照射16ヶ月後　32x20　S82%





2001年12月01日　　照射前　37x21mm

小脳橋角部髄膜腫

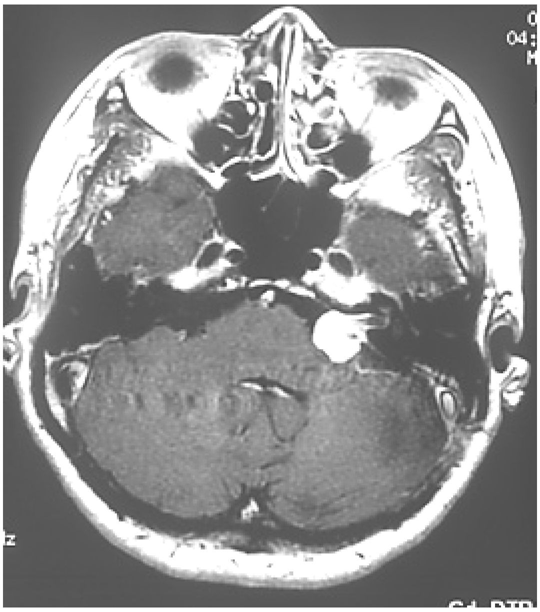
52歳女性　1999年左突発性難聴の診断を受けるもCTやMRIの検査は受けてない。2001年5月子宮筋腫の手術。このころより左難聴が悪化し頭痛も生じたため7月5日CT検査を受けたところ左小脳橋角部腫瘍を指摘された。7月23日当科での手術を希望され来院。

初診時、左難聴（Gardner Robertson Grade Gr III）　術前MRIで腫瘍は30x30x20mmであり、髄膜腫が示唆された。7月31日　開頭腫瘍摘出術施行。腫瘍はVII, VIII神経と強く癒着しておりここの部分を残さざるを得なかった。病理診断はtransitional meningioma　で悪性所見は認めなかった。

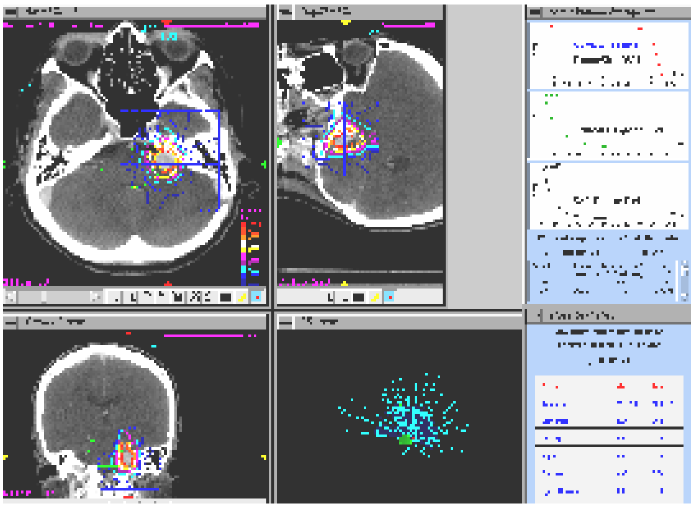
術後2ヶ月ほど左顔面神経麻痺（2度）が出るも次第に軽快。また、軽度の左小脳半球症状が出るも家庭の主婦として問題なく生活できていた。

2001年12月6日経過観察のMRIで残存腫瘍がすこし増大していた。サイバーナイフ治療につき説明したところ治療を希望され12月25日入院。3fr(分割)のSRT施行。治療前左聴力は90dBの難聴。　Max24.0Gy　Marg21.1Gy　SRT3frs SRS14.6Gy相当。

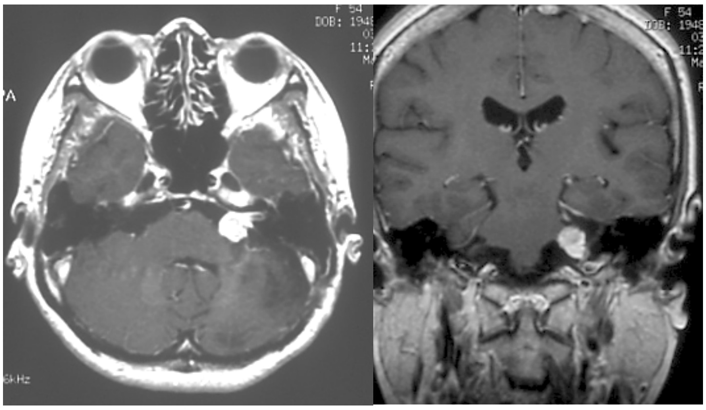
照射後9ヶ月にてやや縮小し、内部の造影も低下している。



2002年05月02日　15x15mm



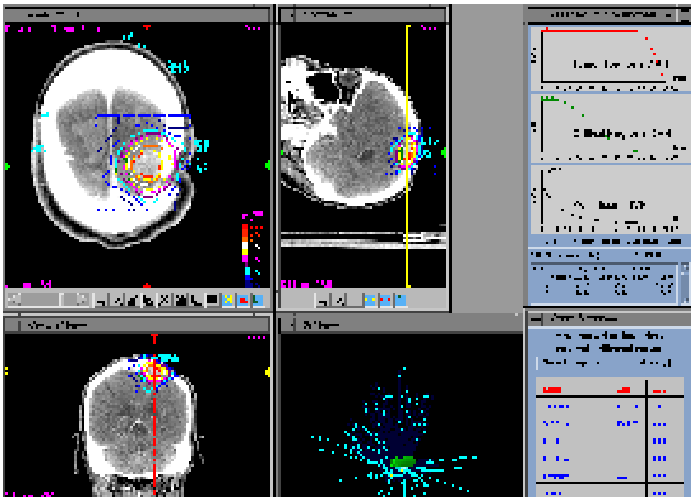
Max　24.0Gy　Marg　21.1Gy　SRT3fr



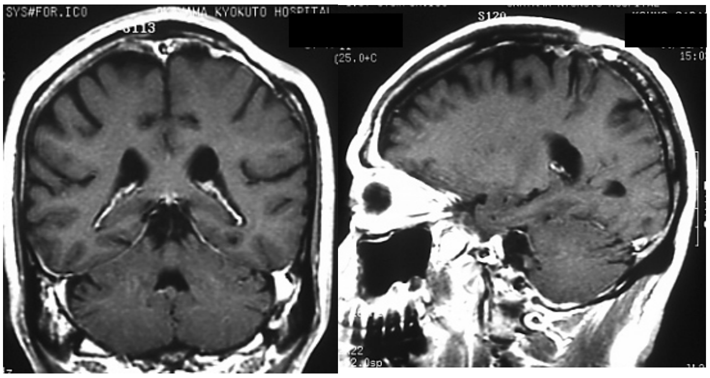
2003年02月06日　内部の造影低下13x13　S75%

再発髄膜腫

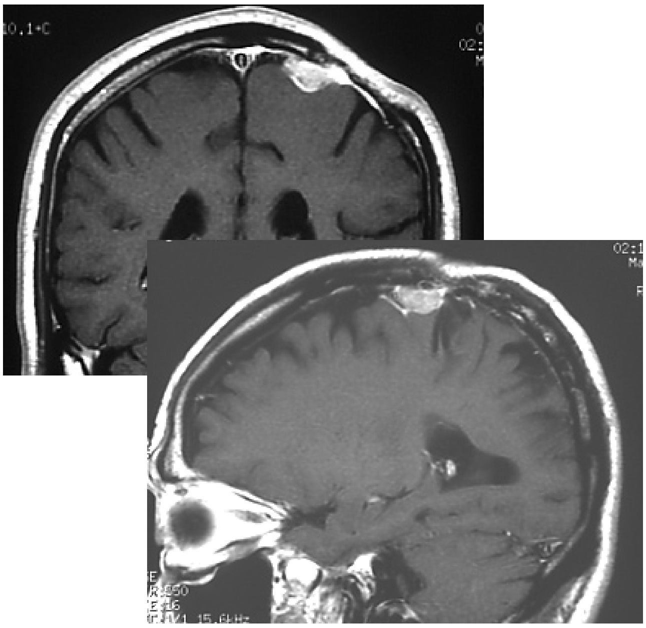
1995年10月21日　右半身麻痺のため近医を受診し左前頭頭頂部に腫瘍が見つかった。
1995年11月30日　左前頭頭頂部傍矢状静脈同髄膜腫の診断で当院入院。12月5日開頭腫瘍摘出術施行。組織はTransitional meningioma, no malignancy
その後外来で経過観察。2000年11月1日小さな腫瘍が出現。その後少しづつ増大。2002年10月21日頭部MRで最大経が2cm近くなったため、サイバーナイフ治療の適応ありと判断し説明、治療となった。
2002年11月1日　SRS　D 1.87cm　V 3.4ml　Max19.1Gy　Marg16.0Gy　SRS にて治療。
照射5ヶ月後のMRIにて、腫瘍はやや縮小している。



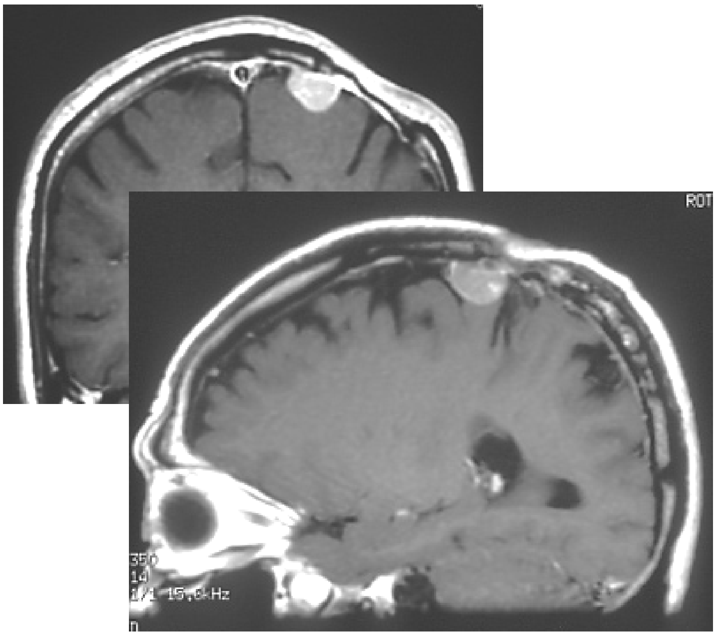
D 1.87cm　V 3.4ml　Max19.1Gy　Marg16.0cGy　SRS



2000年11月01日　小さな腫瘍の再発を認める。



2002年10月21日　治療5ヶ月後　Cor 17x10mm S75%



2002年10月21日　治療時　Cor　19x12mm

浮腫が強く出た髄膜腫

53歳　女性　1999年頃から、めまい感があり、次第に強くなるため精査を希望し、T病院を受診。2002年7月23日CTにて石灰化を伴う直径3cm程度の腫瘍が見つかった。主体は左後頭蓋窩であるが、一部テント上にも伸展有り。テント髄膜腫と考えた。T病院にて各種の治療法の説明を受けた。

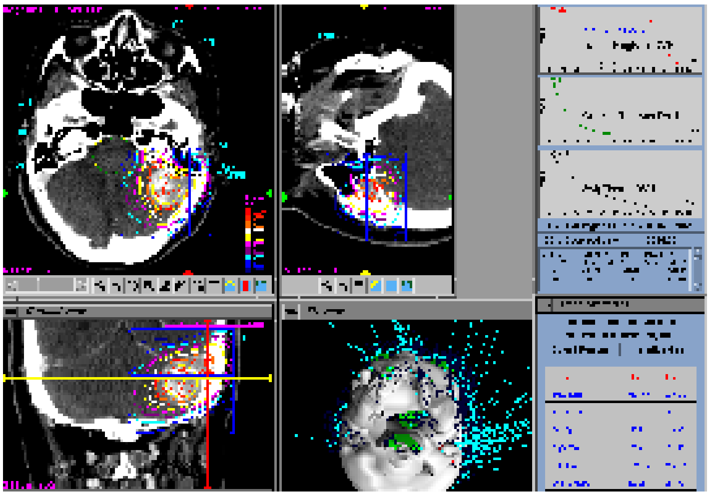
放射線治療に対する説明を希望され、2002年8月27日当院へ来院された。放射線治療は増大抑制目的の治療であり、現在あるふらふら感等の症状は改善しないこと。手術であればふらふら等の症状が改善する可能性があること等の説明をした。

一応手術をうけるつもりであったが、家庭の都合で延期しているうちに手術を受けるのがいやになり、放射線治療を希望され再来院された。MRI等の検査にて腫瘍の増大は認めない。

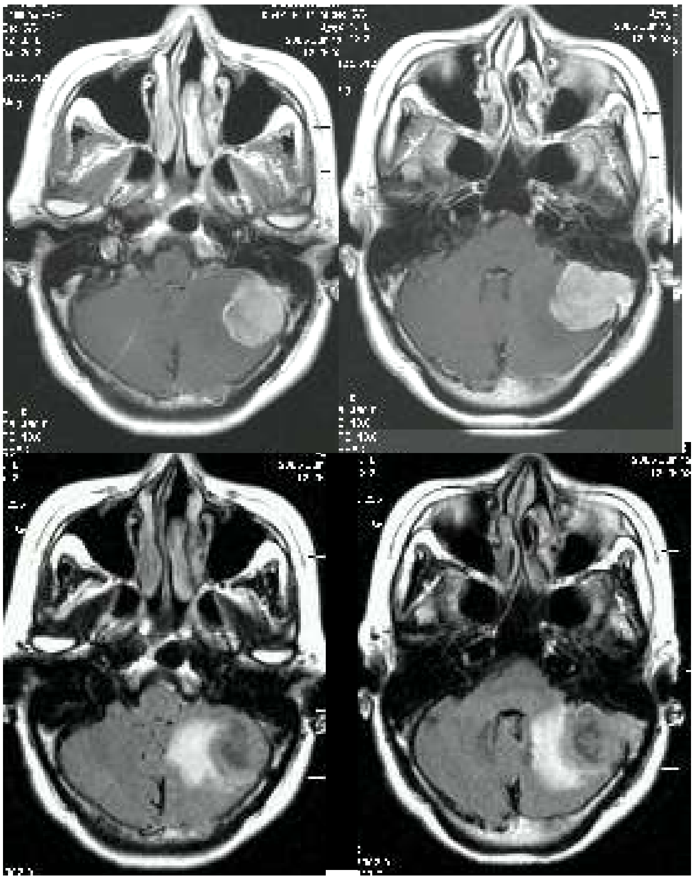
再度説明の後、2002年12月3日入院。4日から6日までの3分割にて治療した。6日朝軽い頭痛を訴えた。退院時に軽い頭痛を訴えた。他に副作用無し。

約6ヵ月後、頭痛が増強。MRIにて浮腫を認め、ステロイド開始。

2004年3月浮腫は同様だが、頭痛は無くなった。フラフラ感も少し改善している。



D 33.5mm　Max　35.3Gy　Marg 27.0Gy
(SRS 18.2Gy相当)　Min 22.0Gy



治療約6ヶ月後　2003年06月12日

治療時　2002年12月04日

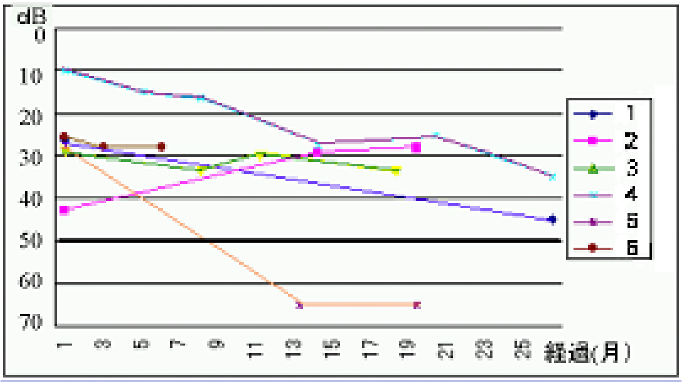
聴神経腫瘍

聴神経腫瘍は、37例に治療を行った。 術後の再発例で、手術をしてもまた再発する可能性が大きい症例や、反対側の聴力がすでに失われており、手術により腫瘍を摘出できてもADLの障害で社会的生活が困難になると思われる症例など手術に問題があるために脳神経外科医から定位放射線治療を薦められて来院された例が多かった。なかには手術による効果や副作用等の説明を受けたが手術に同意出来ず、患者様から放射線治療の説明を希望し来院された患者様もあった。

最近の定位放射線治療の報告では、辺縁線量を12-14Gyとしたものが多く、いずれの報告も顔面麻痺の発生率は0%とするものが多い。しかし、聴力障害については、50%程度から20%程度と各施設で程度の差はあるものの、決して低くはない。

サイバーナイフは分割治療が可能であり、分割治療により聴力低下を回避できるのではないかと考え、3分割治療を積極的に用いてきたが、6例中3例で20dB以上の聴力低下があり、うち1例は有効聴力を失っており、聴力低下を回避出来てない。サイバーナイフの場合、治療計画作成時、ビームを有効利用するために長軸方向に長い治療計画が出来てしまうのが理由ではないかと思われる。今後の治療においては、内耳への照射を減らすことにより聴力温存率を改善出来る可能性があるのではないかと考えている。

治療後に聴力を測定した6例の聴力経過



6例中1例で60dB以下に低下した。

耳鳴りで発症した聴神経鞘腫

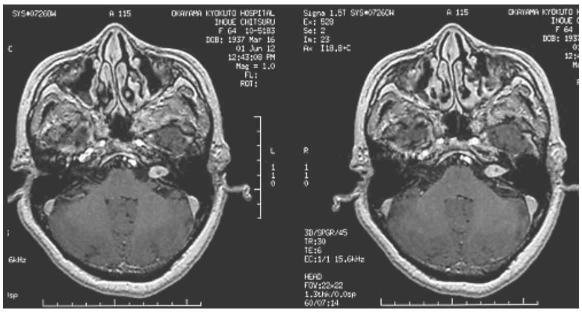
64歳　女性　 2001年4月頃より耳鳴がするようになり、精査を受けたところ、左内耳道およびその近傍に腫瘍が見つかった。小児期に反対側(右)の聴力を失っていることより、前医にて、聴力温存のためには手術は望ましくないとの説明を受けている。

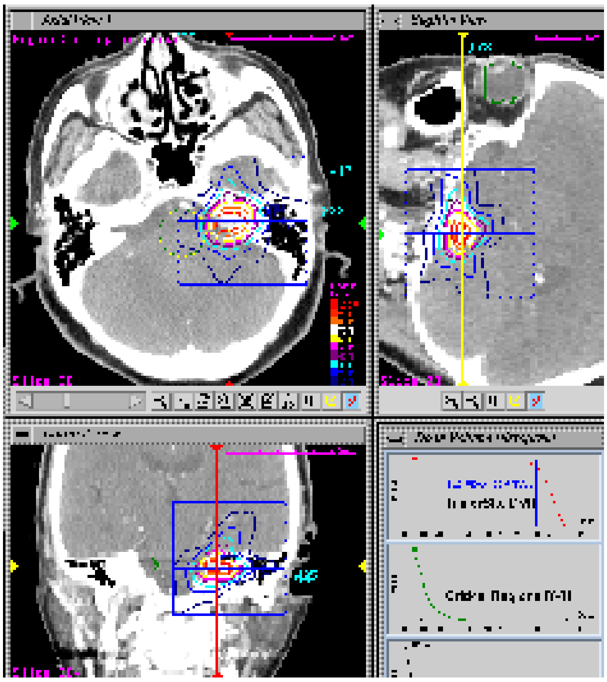
2001年6月12日サイバーナイフによる放射線治療の相談にご家族とともに来院され、入院、治療となった。左耳聴力はGardner-Robertson分類にてGR2であった。

左聴神経腫瘍に対して3分割にて治療した。治療計画は、下に示す如くであり、腫瘍は直径換算(D)12mm　最大線量(Max) 21.0Gy 辺縁線量(Marg)17.1Gy　1回治療への換算(SRS)12.1Gyであった。なおSRSへの換算はLQモデルにてα／β＝10で計算した。腫瘍の性格からすると、α／β＝10は適切でないと思われるが、各腫瘍の正確なα／β値が不明であり、計算の便宜上全疾患で統一した。もし本例でα／β＝5と仮定して計算すれば1回治療への換算値は11.3Gy相当となる。

1回照射後少し耳鳴が強くなったとの訴えあったが、2日目治療後は耳鳴は改善。3日目照射前に悪心の訴えがあったが、他に大きな副作用なく治療を終了した。

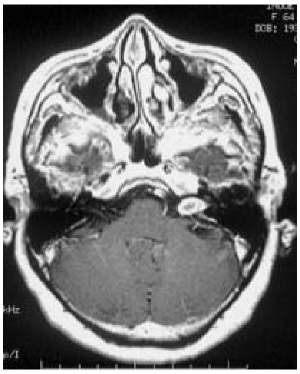
2001年06月12日 サイバーナイフ治療時





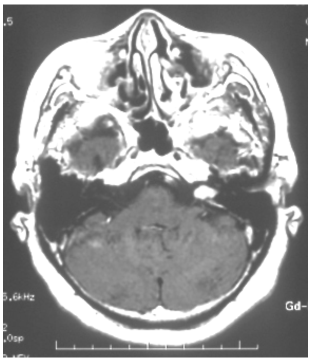
治療計画　D12mm Max 21.0Gy
Marg17.1(SRS12.1)Gy

2001年07月06日



2001年10月17日

2002年01月18日



2003年09月/24日

2003年9月24日　MRIにて腫瘍は縮小している。

聴力検査にて1000Hzが前回より10dB程度低下。自覚的にも聞きにくくなったとの訴えあり。2000Hz以上は測定出来ない。(健側の聴力を消失している。)

難聴で発症した聴神経鞘腫

57歳男性　約5年前に電話の時、右耳が聞こえにくい（音は聞こえるが語の理解がしにくく）と感じ、近くの耳鼻科などを受診したが、著変無しとの説明をうけた。

約3年前に左を向くと物が2重に見えたことがある。

約1週間前(2001年2月14日頃)に、眩暈が強く、歩けなくなり、嘔吐した。MRI検査にて右小脳橋角部に腫瘍があり、O大放射線科へ紹介となったが、サイバーナイフの適応とのことで、当院へ紹介となった。

2001年2月21日に来院され、サイバーナイフ治療の概要や治療効果、また手術療法についても説明した。

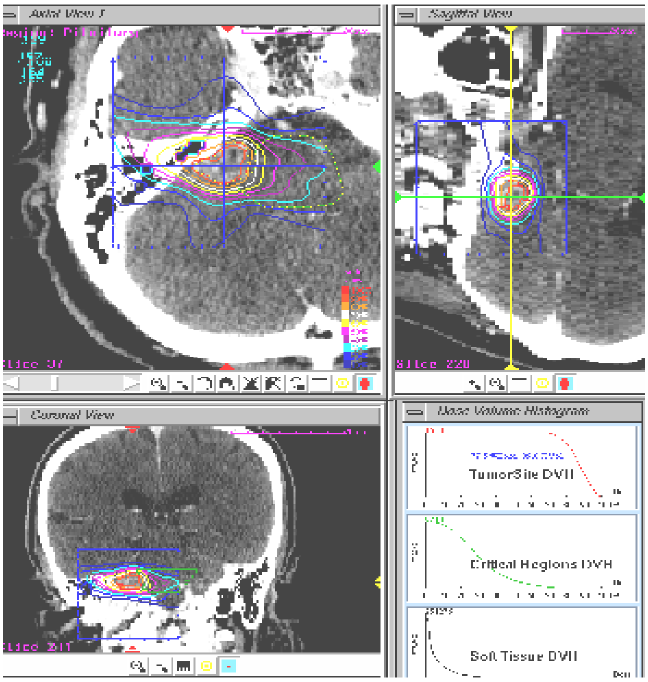
サイバーナイフ治療を希望され、3月7日治療計画作成。8日より12日までの3分割3日治療をおこなった。治療は問題なく終了した。

照射前の聴力測定では聴力は正常範囲であったが、右が左に比べ5db程度低下していた。語の理解も右がやや不良であった。Gardner-Robertson分類にて　GR1であった。

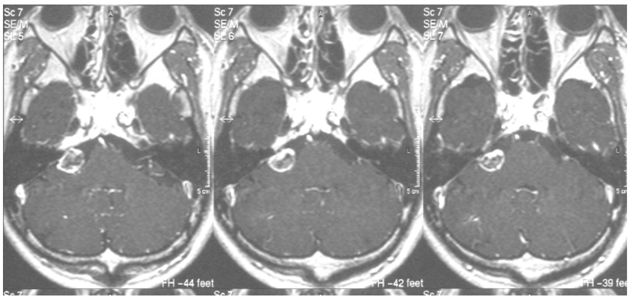
治療4ヵ月後、腫瘍体積はやや増大していたが、内部の造影は低下した。

治療後17ヶ月（2002年8月15日）には長径13mmに縮小。

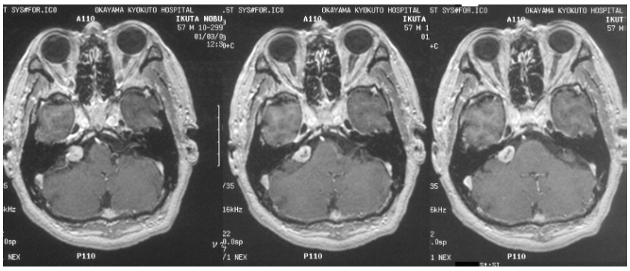
治療後25ヶ月（2003年4月9日）のMRIでも長径13mmであった。



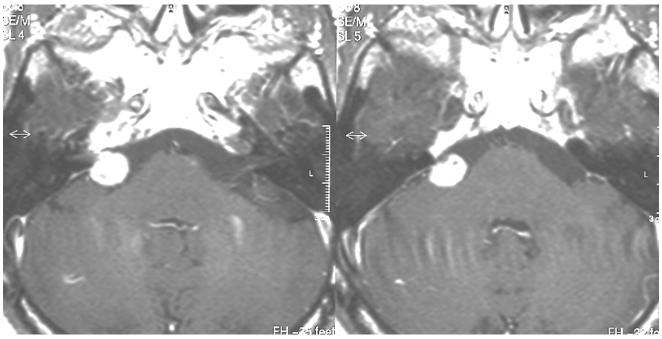
治療計画　D14.7mm Max 22.1Gy
Marg17.1(SRS12.2)Gy



治療4ヵ月後、腫瘍体積はやや増大しているが、内部の造影は低下してきている。



照射前

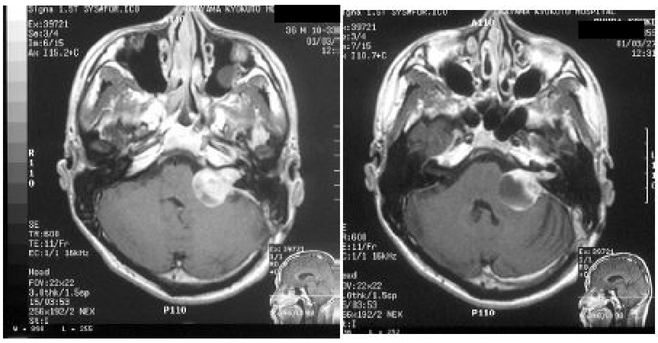


2003年4月9日

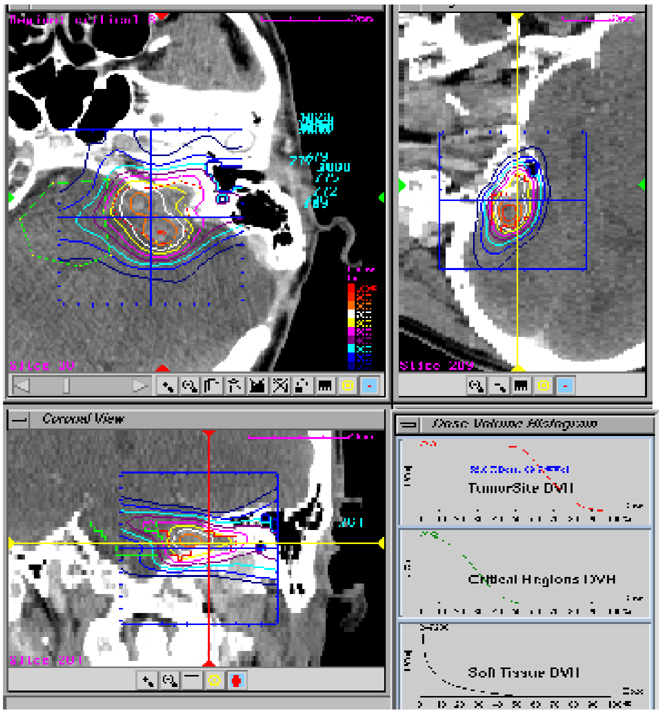
治療後17ヶ月（2002年8月15日）には長径13mmに縮小。
治療後25ヶ月（2003年4月9日）のMRIでも長径13mmであった。

難聴で発症した聴神経鞘腫

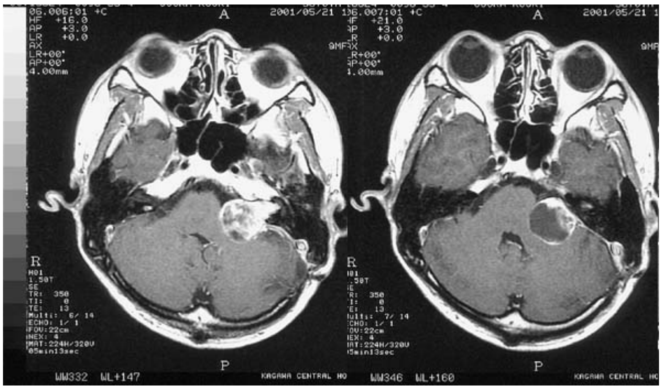
37歳男性　1990年右耳が聞こえにくくなり精査をうけ、聴神経腫瘍がみつかった。1990年と1994年の2回右聴神経腫瘍にて手術を受けている。再手術後更に腫瘍の増大有り、サイバーナイフ治療目的で当院へ紹介となった。右顔面麻痺はないが、聴力は消失している。腫瘍実質より頭頂側のスライスにてcystを認めるが、腫瘍実質に対して辺縁SRS換算で14Gyにて照射。
腫瘍内側の橋に接するCyst壁にまで照射すると照射体積が大きくなり、橋の被曝も大きくなるので、橋に接するCyst壁には照射してない。
7カ月後には腫瘍やや縮小。
10カ月後にはCystが著明に縮小している。



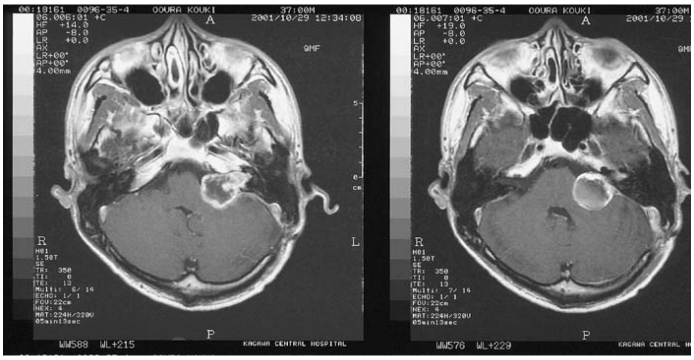
2001年03月28日　治療前



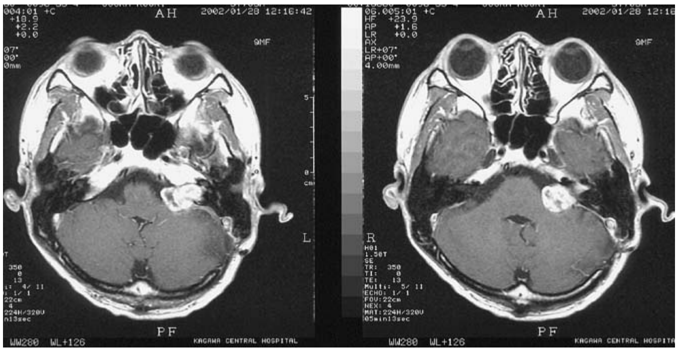
治療計画　D24.2mm Max 35.8Gy
Marg20.0(SRS13.9)Gy



2001年05月21日　2ケ月後



2001年10月29日　7ケ月後



2002年01月28日　10ケ月後

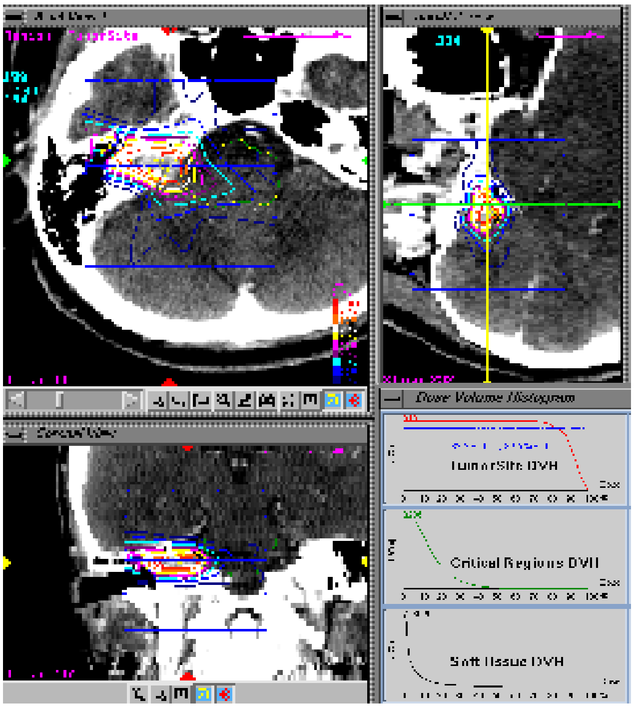
腫瘍内側のCyst壁には照射を行わなかったが、腫瘍、Cystともに縮小している。

放射線治療後やや増大した聴神経鞘腫

38歳女性　2000年12月中旬、右耳で電話が聞き取りにくいのに気づいた。2001年1月21日右耳がほとんど聞こえなくなったため近医を受診、聴神経腫瘍と診断された。耳鳴は強いがめまいなどは無く、日常の仕事は通常どおり出来ている。

治療1年後のMRIでは、腫瘍のサイズは治療前にくらべると少しおおきくなっていたが、その後は変わってない。造影の程度は1年後でやや減少していた。

2001年5月

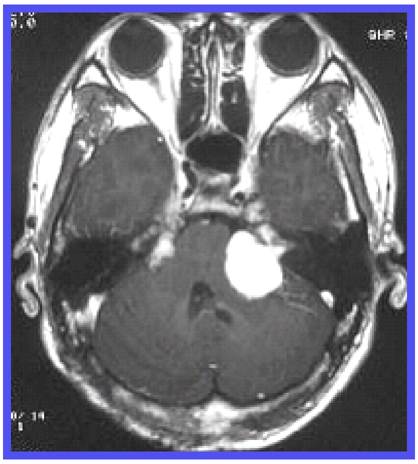


2001年5月　D11.6mm Max 20.3Gy
Marg16.9(SRS12.0)Gy

2002年9月(治療16ヶ月後)

NFII に合併した聴神経腫瘍

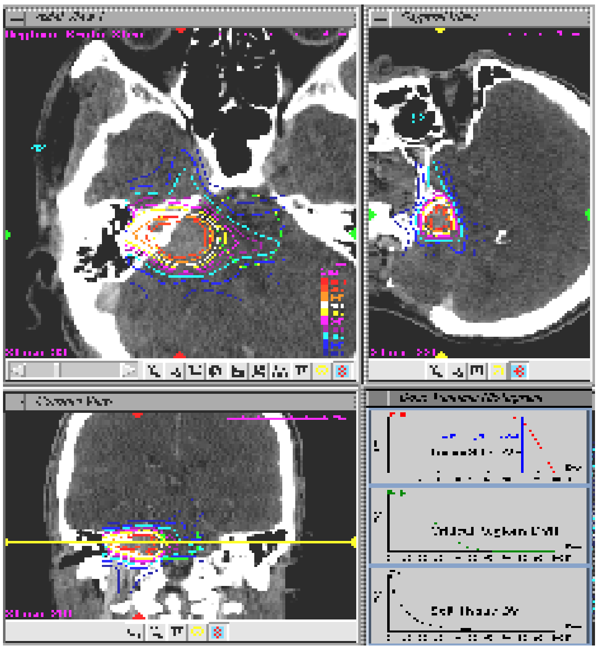
NeurofibromatosisIIに合併した
両側性聴神経腫瘍
（　31才　男性　）



1999年に左側聴神経腫瘍の手術
を受けたときの術前MRI

1999年　左側の聴神経鞘腫の手術を受けた。その後､右側の腫瘍が次第に増大。
左側は聴力を喪失していることから､右側には定位放射線治療が第1選択となった。
サイバーナイフ治療後しばらくの間めまい感がつよくなっていたがCTでは腫瘍に変化は無く放射線の副作用かどうかは不明。2001年11月26日､2002年1月21日のMRIでも腫瘍に変化は無かったが､2002年4月22日の造影MRIでは腫瘍内部の造影が低下していた。

200年.10月23日　治療前



治療計画　D19.0mm Max 22.5Gy
Marg18.2(SRS12.8)Gy

2001年11月26日　1ヶ月後

2002年4月22日　6ヶ月後

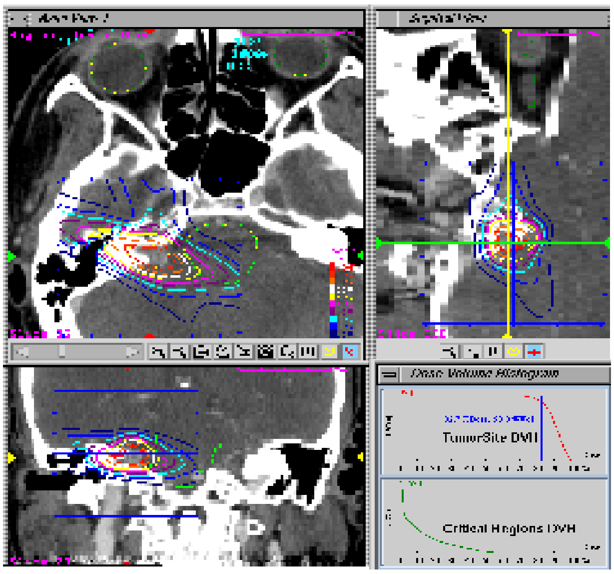
放射線治療後増大縮小した聴神経腫瘍

54才女性。1998年9月20日右耳の耳閉感に気づき、Y病院でMRI検査の結果聴神経腫瘍と診断された。内耳道に限局する腫瘍ではあるが、次第に大きくなるため、2001年5月当院へCyberKnife治療目的来院された。6月18日入院。19日より3分割での分割治療。顔面神経麻痺なし。聴力はｶﾞｰﾄﾞﾅｰﾛﾊﾞｰﾄｿﾝ　1級。

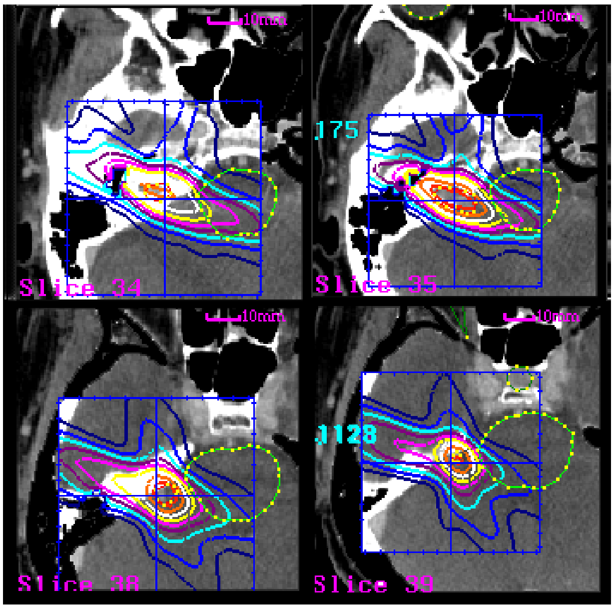
20日より悪心あり。22日には嘔吐もあり、メイロンの点滴やプリンペランの注射をした。照射は予定どおり終了し、退院された。

2002年6月（治療約1年後)の段階で、聴力は半年前より20dB低下し、60dBとなった。MRIでは、治療後腫瘍は一時腫大したが、その後縮小している。

2001年6月（治療前)



治療計画　D12.1mm Max 21.7Gy
Marg17.5(SRS12.4)Gy



2mm毎の治療計画線量
内耳道に沿った分布になっており、橋への線量を減らすために、関心領域を設定した。内耳へも辺縁と同じ程度の照射になっている。

2002年9月(3ヵ月後)

次第に増大する聴神経鞘腫

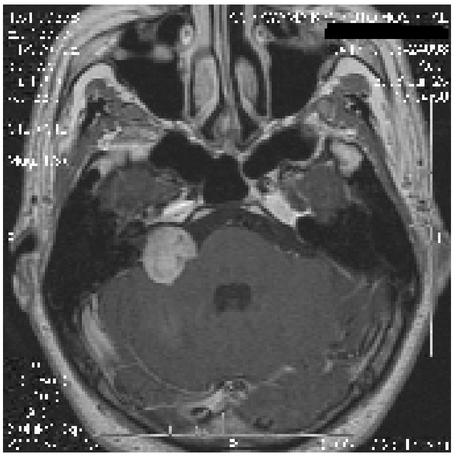
1998年6月18日　目の奥の奥の痛みにて来院。MRにて体積1cc程度の内耳道内に限局する小さな右聴神経腫瘍が見つかった。

放射線療法、増大してきた時に手術などの選択肢を説明したところガンマナイフ治療を希望され、受診したが、小さいため経過観察となった。

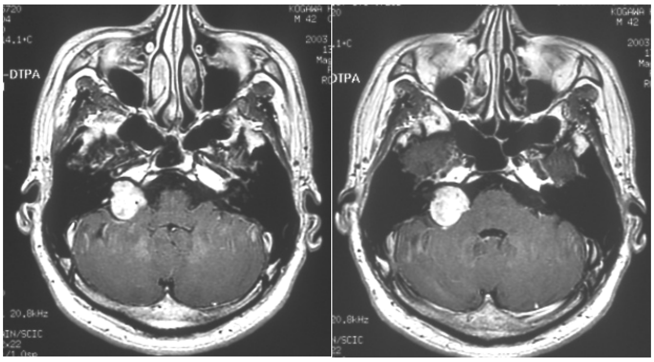
2000年11月右耳鳴を自覚、MRIにて腫瘍が少し増大しており、サイバーナイフ治療となった。

2000年5月14日治療計画作成。15日より3分割にて治療を行った。

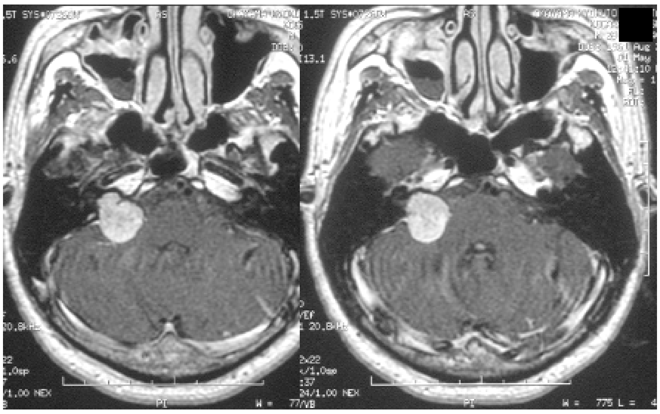
サイバーナイフ治療後、一過性に腫瘍が増大し、その後やや縮小。聴力は低下傾向であるが、有効聴力は維持している。



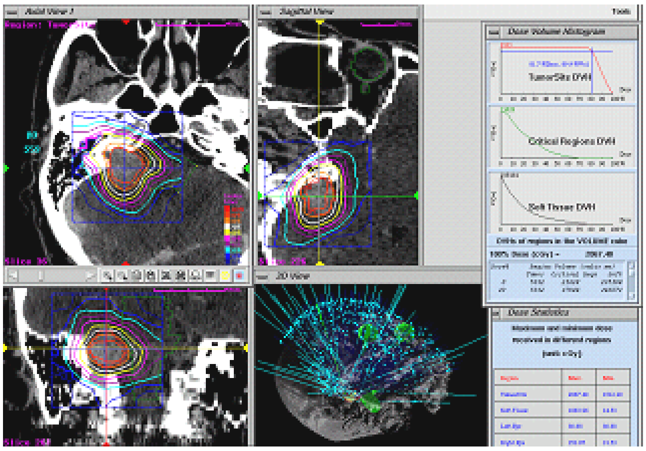
2003年06月25日



2003 年12月24日

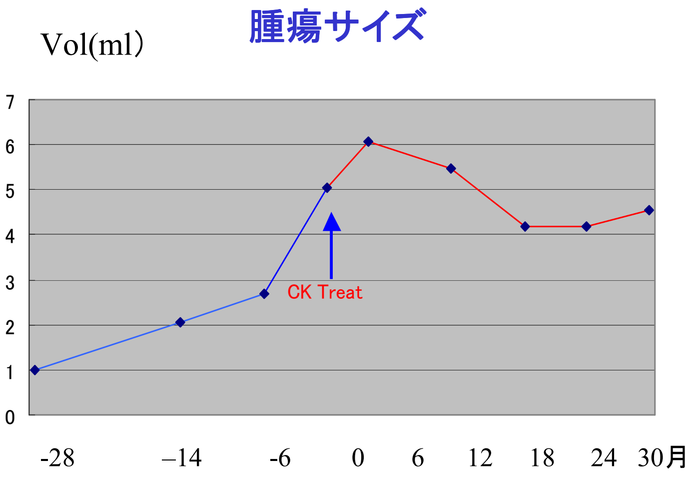


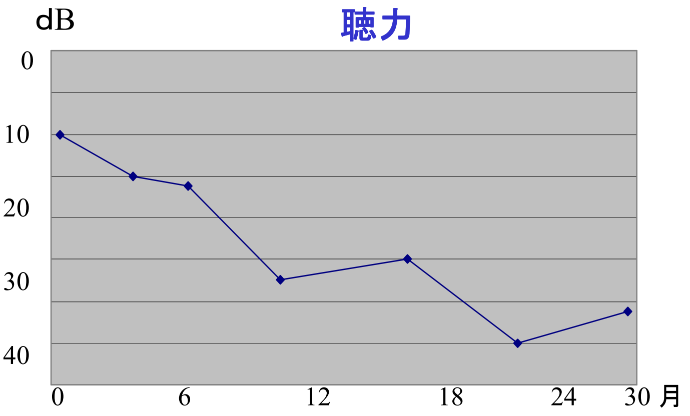
01/05/14 治療前



治療計画

D21.7mm　Max 20.7Gy
Marg 16.9Gy　3Fr　SRS 12.0Gy



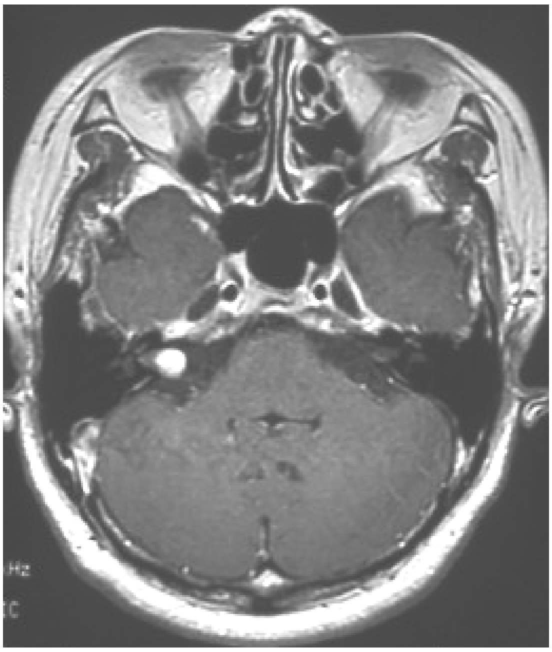


聴神経腫瘍 (非治療例)

1998年4月、小さな腸神経腫瘍が見つかりガンマナイフ治療の相談のため某病院を受診したが、腫瘍が小さいので経過をみることとなった。
約6年間MRIにて経過観察を行っているが、腫瘍は増大せず、聴力も不変である。

1998年4月4日

2002年10月28日



2004年1月19日
当院にてMRI
腫瘍・聴力ともに変化なし

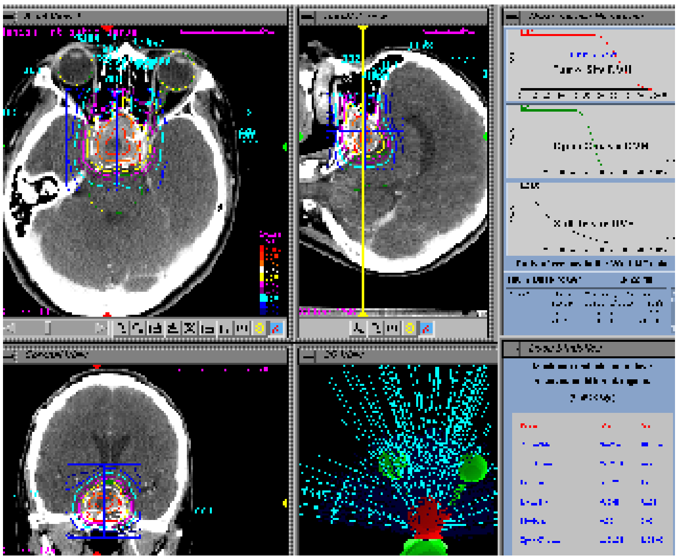
下垂体腺腫

下垂体腺腫は腫瘍辺縁が視神経を圧迫あるいは接近している場合が多い。視神経は放射線障害が起きやすい組織であり、治療線量は視神経との距離によりほぼ決定される。

サイバーナイフでは分割治療を容易に行うことが可能であり、その利点を有効に活用して、視神経に接したあるいは視神経を圧迫している腫瘍などに対しては分割治療を行う[C1]ことが多い。

放射線治療では視神経障害や下垂体機能低下、頚動脈狭窄さらには髄膜腫や癌の発生などの副作用(有害事象)の問題点もある。

定位放射線治療の歴史はまだ浅く、現時点では、第一選択は手術であり、高齢者や手術不能例、再発例などを放射線治療対象とすることが望ましいと考えている。



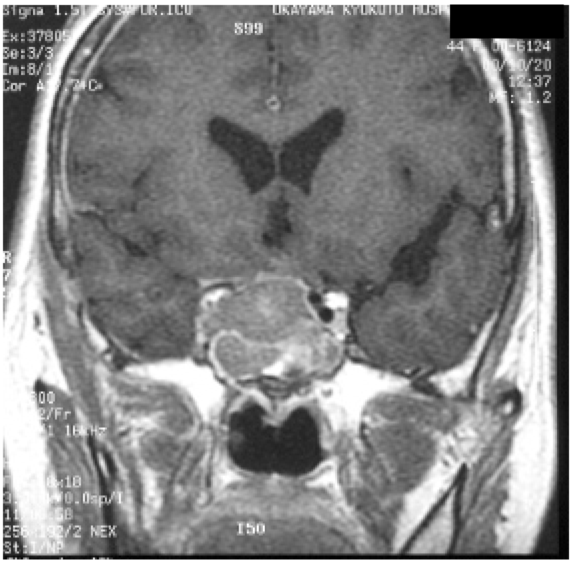
D 34.4mm Max 34.2Gy Marg 22.0Gy
Fraction 3 SRS 15.1

症例 1: 術後再発例

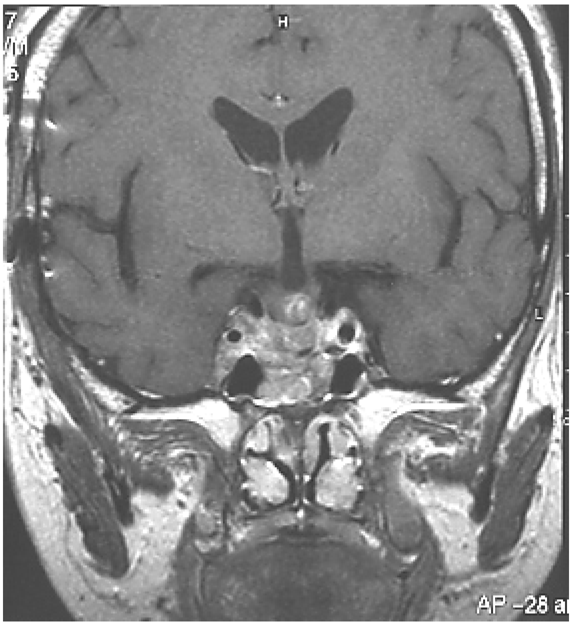
1998年10月23日視力障害でN病院脳神経外科を受診。下垂体にプロラクチン産生性腫瘍を認め、11月経蝶骨洞的手術にて腫瘍を摘出。1999年5月19日腫瘍が増大したため開頭にて腫瘍摘出術を受けた。術後甲状腺ホルモンの投与を受けている。6月14日経蝶骨洞的手術にて三回目の手術。

その後、蝶形骨洞の腫瘍の増大があり、2000年11月CyberKnife治療となった。

治療後約1年のMRIにて腫瘍は縮小している。



2000年10月20日



2001年11月22日

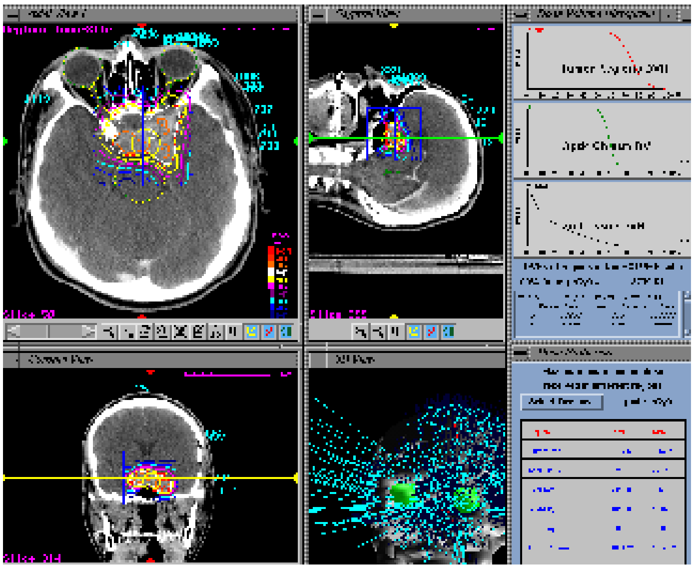
C1)　Preliminary Visual Field Preservation after Staged CyberKnife Radiosurgery for Perioptic Lesions
Christopher J. Pham, D.O.; Steven D. Chang, M.D.; Iris C. Gibbs, M.D.; Pamela Jones, B.S.; M. Peter Heilbrun, M.D.; John R. Adler, Jr., M.D.
Stanford University
Neurosurgery Volume 54, Number 4 : 799-812
2004

症例 2:下垂体腺腫（再発 術後）

1998年5月　視力、視野障害で発症。K大学脳神経外科を受診。下垂体腫瘍の診断で10月12日経蝶骨洞的に手術，11月13日開頭にて残存腫瘍を摘出した。2回の手術後もなお残存腫瘍があり、これが徐々に増大したため、2000年10月4日開頭にて腫瘍の70%を摘出。その後CyberKnife治療の依頼があった。当院来院時、下垂体前葉機能は保たれている。両耳側半盲、視力低下あり。11月14日より3分割(3日間)治療を行った。

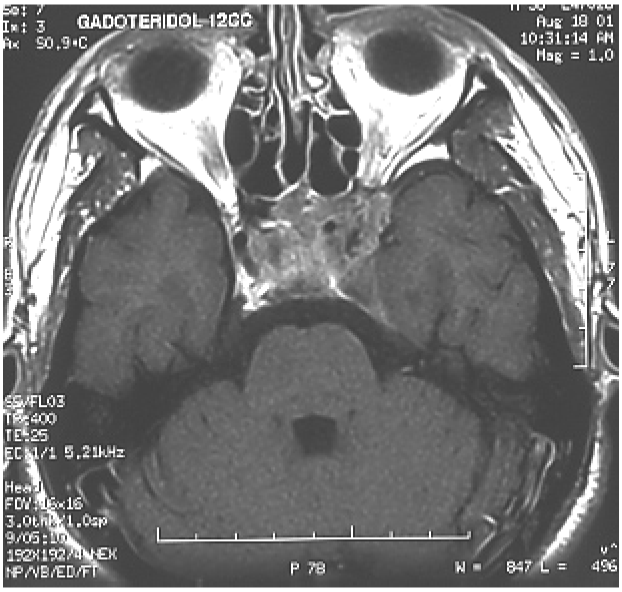
10ヵ月後のMRIにて腫瘍はかなり縮小した。

2002年8月の画像検査にて腫瘍はほぼ消失。下垂体機能は保たれており、視路症状なく。仕事も問題なく出来ていると主治医より報告をいただいている(画像なし)。



D 34.3mm Max26.9Gy Marg18Gy 3Fr
SRS12.7Gy

2000年10月12日(治療前)



2001年08月18日(約10ヵ月後)

症例３：照射後に髄液瘻

紹介医にてパーキンソン病の治療を受けている。MRI検査にて下垂体に腫瘍がみつかった。腫瘍は脳内に伸展している。経過観察にて腫瘍に増大傾向あるも全身状態よりして手術は困難であるためサイバーナイフ治療目的で当院へ紹介となった。

来院時、歩行には少し介助を要する状態であった。食事も時々むせる。振戦はないが、典型的な仮面様顔貌でアキネジアや筋強豪ど症状が強い。

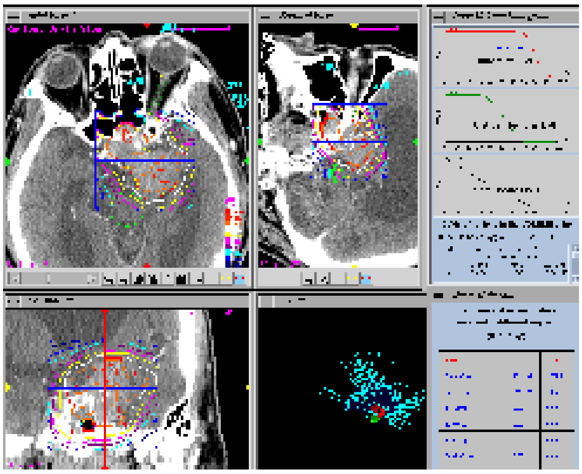
サイバーナイフで2001年4月16日から21日まで4分割にて照射した。照射中には副作用無く治療終了。

2001年7月26日より髄液漏が続き、岡大にて髄液漏閉鎖術を数回受けたが止まらなかった。髄膜炎などの感染は無く経過した。

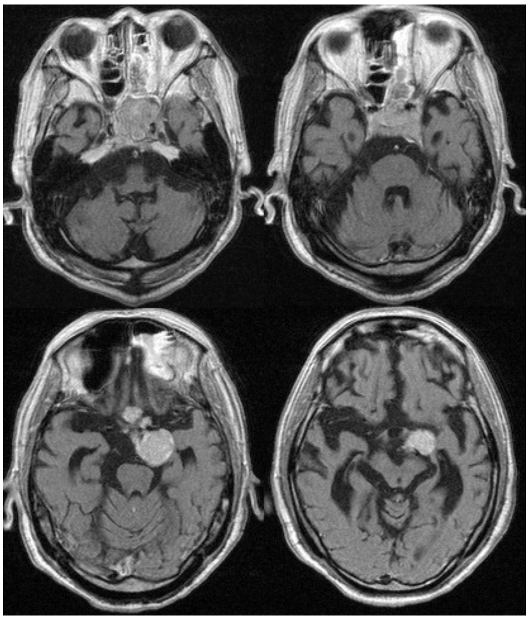
2001年9月7日（治療後約5ヶ月）のMRIでは頭蓋内腫瘍はやや縮小しているが、蝶形骨洞内の腫瘍は残存していた。

2002年4月4日　CTの検査にて腫瘍は縮小し直径2cm程度であった。頭蓋内の腫瘍は縮小したが、蝶形骨洞内の腫瘍は残っていた。(主治医よりの報告)

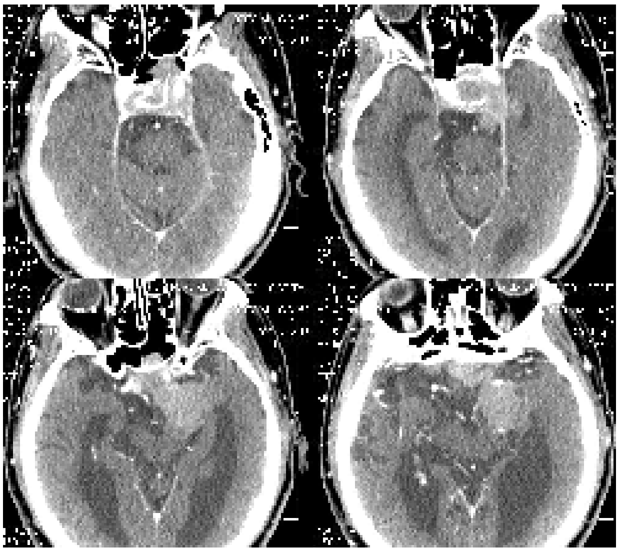
2002年8月12日　突然呼吸停止により死亡されたとのこと。下垂体腫瘍が原因の死亡とは考えられないとのこと。



Plan:D42.4mm　Max 28.3Gy
Marg 20.7Gy 4Fr SRS13.4



2001年9月7日



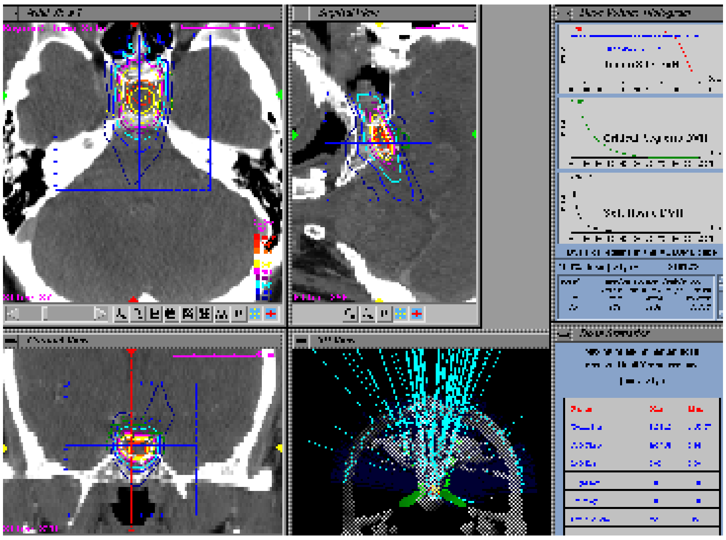
治療時のCT(2001年4月）

症例 4 :GH産生　下垂体腺腫

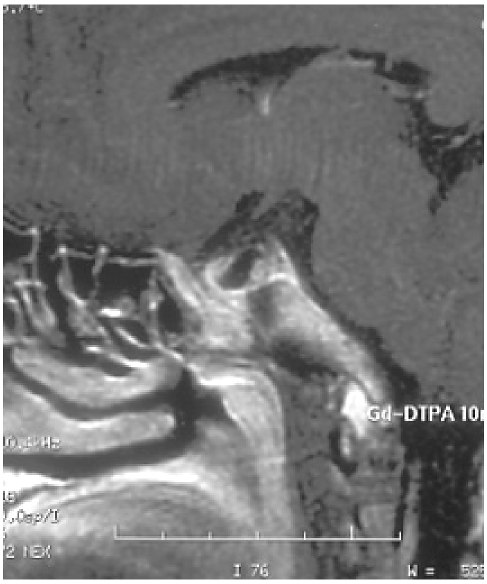
49才女性、1993年に咬合不全を自覚。1996年7月9日　I病院脳神経外科でGH(成長ホルモン)産生下垂体腺腫による末端肥大症の診断を受け、経蝶骨洞的に手術。200年6月21日GH 20.9ng/mlまで上昇するも自覚症状ないため放置。2001年4月顔貌の変化に気づき当院を受診された。GH 22.7ng/ml であり、画像検査（MRI）にて微小腺腫と診断した。

CyberKnife治療の適応ありと考え、本人に説明、2001年6月6日SRS(1回治療）で治療を実施した。

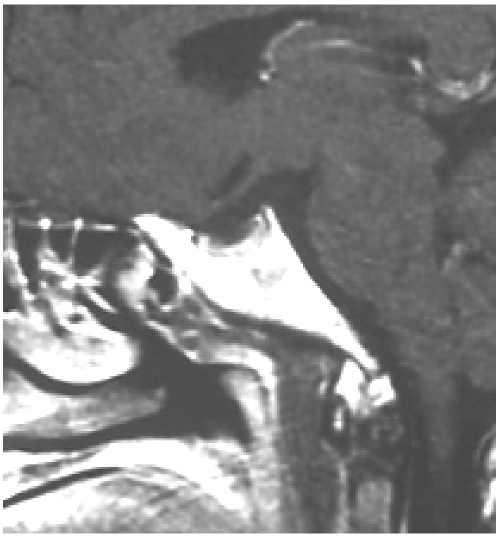
サイバーナイフ治療約1年後よりGHは低下してきた。2002年6月には7.3ng/ml　12月には6.1ng/mlと低下している。



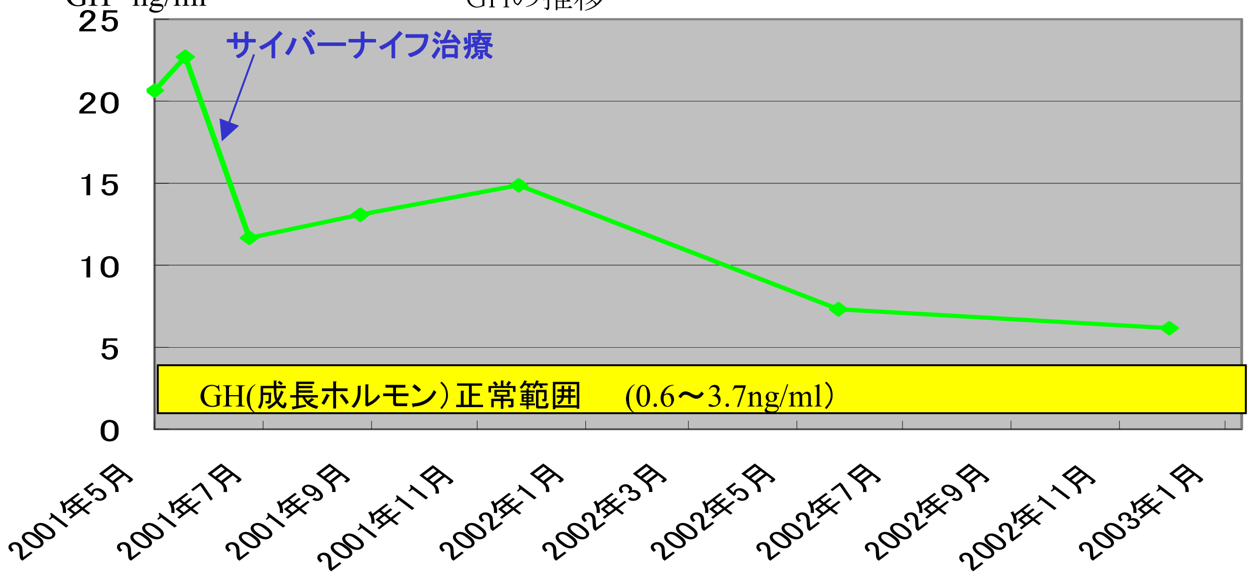
Plan:D11.9mm　Max 21Gy
Marg 16.8Gy Min 14.5Gy



2001年05月28日(治療前)



2002 年06月04日

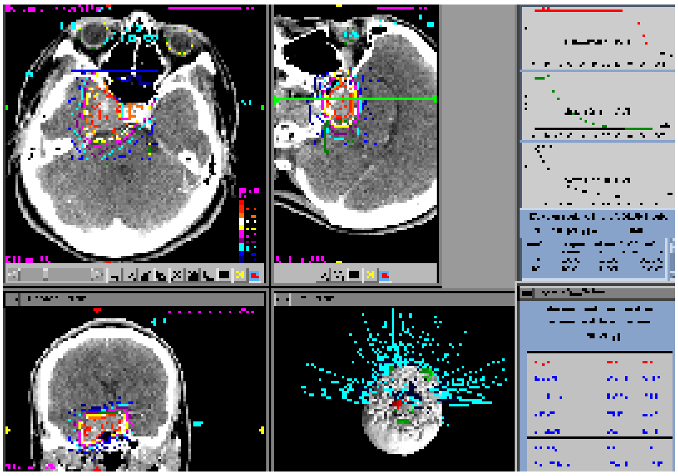


症例５：GH産生　下垂体腺腫

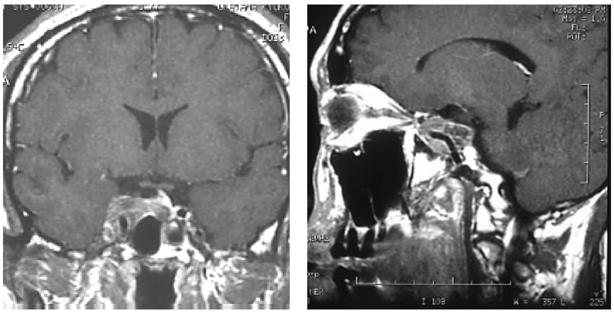
25才女性。既婚、子供なし。2000年秋、頭痛のためCT検査を受けたが正常と言われた。 2001年10月5日右方視での複視が出現し、近医を受診、頭部MRにて下垂体腺腫を指摘された。眼科検査で両耳側上1/4半盲。右外転神経麻痺。右三叉神経知覚低下あり。GH 300ng/ml。2000年10月23日初診。GH以外のホルモンは異常なし。MRI上腫瘍は右海綿静脈洞へ浸潤しており、視交叉の圧排著明。2001年11月6日経蝶形骨洞的に手術。術後一過性に尿崩症を起こすも数日で軽快。術翌日の GHは130ng/mlへ低下。しかし、一週目の採血では再び300ng/mlとなった。MRIでは鞍内は十分減圧でき視交叉も確認できた。視野は正常化した。

2002年1月23日のMRIで腫瘍に変化なし。2002年2月1日外来でサイバーナイフ治療計画用CTを撮り、2月4日から5分割治療をおこなった。治療直前のホルモンはGH 124ng/ml　PRL 2.3ng/ml　TSH, ACTH　は正常。Gonadotropinの反応は正常であった。

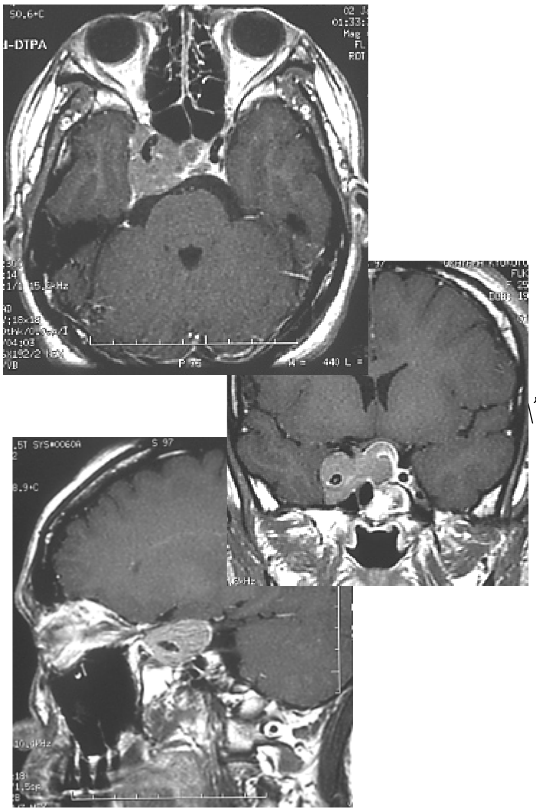
その後外来にて経過観察中



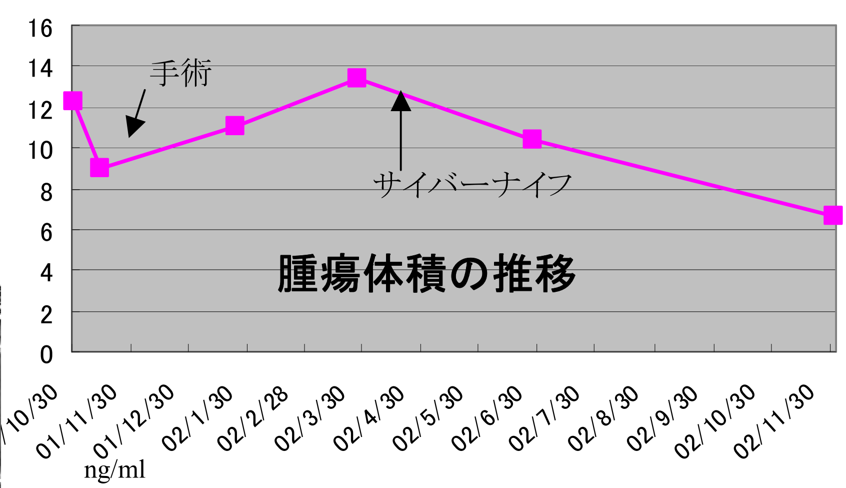
D28.7mm(12.4ml) Max37.6Gy
Marg 32.0 5Fr SRS18.4

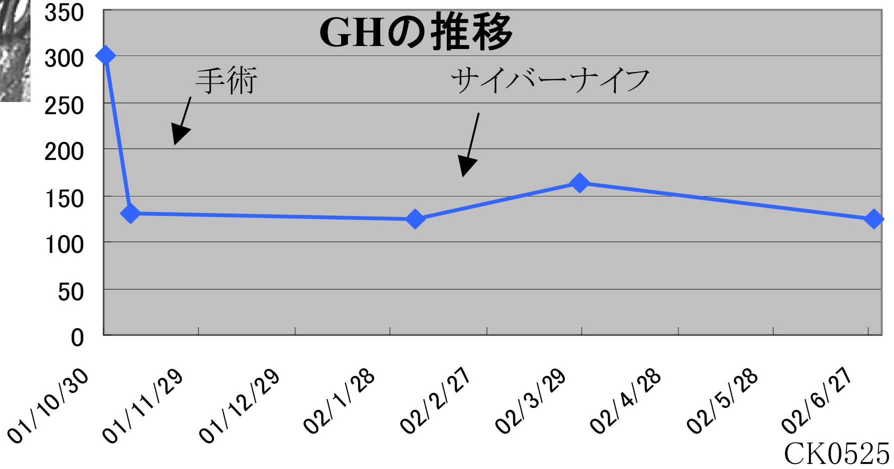


2002年12月02日（治療約10ヵ月後）



020123（治療前）

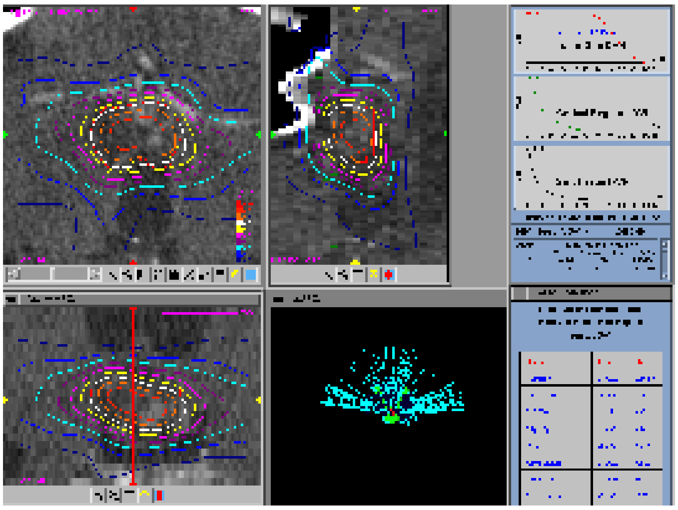




CK0525

頭蓋咽頭腫

頭蓋咽頭腫は放射線感受性が高いとされているが、視神経近傍腫瘍のため視神経の耐容線量で辺縁線量が規定される。
嚢胞をともなう場合には、嚢胞を穿刺して縮小させ、視神経と腫瘍を分離出来れば治療が容易となる。
サイバーナイフの利点を利用して分割治療C1)を取り入れている。現在までの治療症例では視神経に対する重大な副作用は起きてない。

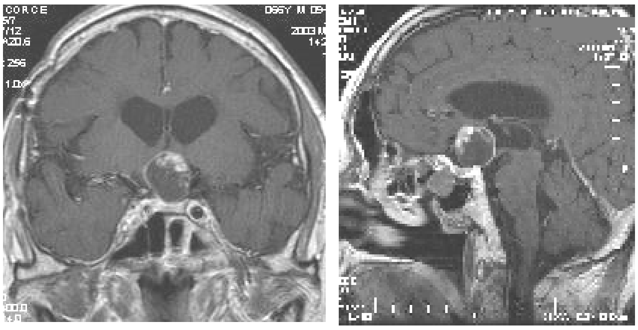


D 21.0mm　Max 24.9Gy
Marg 15.8Gy　2Fr　SRS 12.5Gy

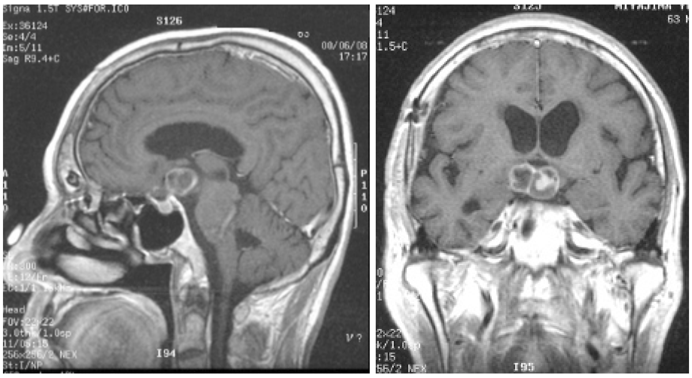
治療　2000年6月12日と13日　各1回

症例 1：術後増大例

63才男性、1983年に右顔面痙攣に対し、微小血管減圧術を受けている。
1999年12月頃より視力、視野障害に気づき診察やMRI検査を受けたが著変無しと診断を受け経過観察となっている。
2000年4月3日　症状が悪化するため再度MRI検査を受けたところ、頭蓋咽頭腫疑いとの診断を受けた。4月5日視力は右0.001,　左0.06耳側半盲あり。甲状腺機能低下も認めた。4月18日開頭腫瘍部分摘出術。病理診断は扁平上皮型頭蓋咽頭腫であった。術後視力、視野障害は著明に改善した。
術後約40日のMRIで腫瘍は増大傾向あり、2000年6月12日と13日　二分割でCyberKnife治療を実施した。何ら副作用なく、退院された。
33ヵ月後のMRIにてCystやや増大を認めるが臨床症状は不変であり経過観察中



2003年3月24日



2000年6月8日

C1)　Preliminary Visual Field Preservation after Staged CyberKnife Radiosurgery for Perioptic Lesions
Christopher J. Pham, D.O.; Steven D. Chang, M.D.; Iris C. Gibbs, M.D.; Pamela Jones, B.S.; M. Peter Heilbrun, M.D.; John R. Adler, Jr., M.D.　Stanford University　,
Neurosurgery　Volume 54, Number 4　: 799-812　2004

症例 2：術後増大例

18才男性。1999年より時々頭痛があった。K病院でCTを撮ったところ脳腫瘍を指摘され当科を受診された。

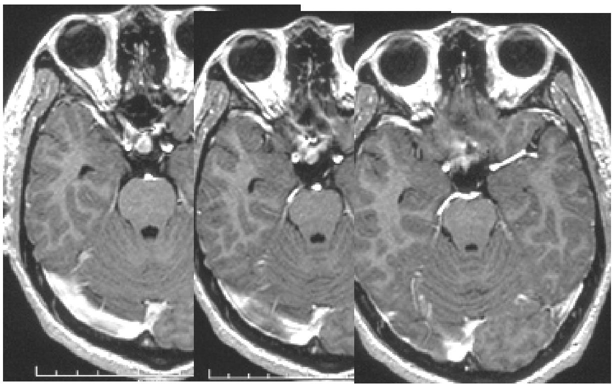
Intrasellar-suprasellar massの診断で1999年5月17日　rt pterional approachで開頭腫瘍摘出術を受けた。病理診断は頭蓋咽頭腫　（Rathke's　Cleft Cystの可能性もあり）であった。

2000年9月27日のMRIでトルコ鞍内腫瘍の増大があり、頭蓋咽頭腫再発と診断し、2000年10月11日CyberKnife治療となった。1回（SRS）で治療した。

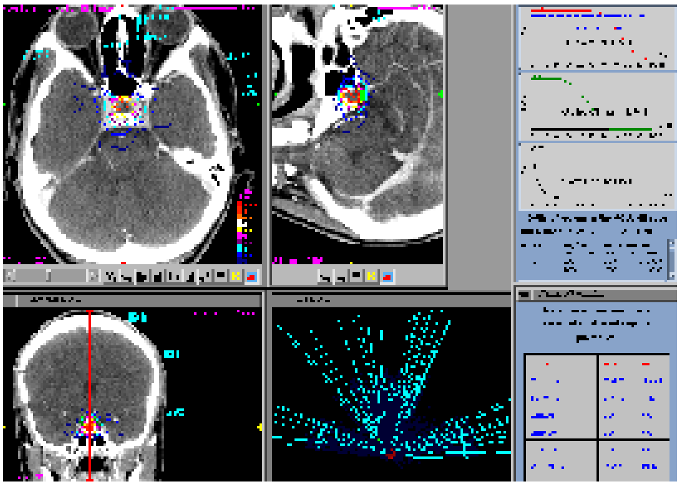
治療2年後のMRIで腫瘍に変化を認めない。

2001年05月08日

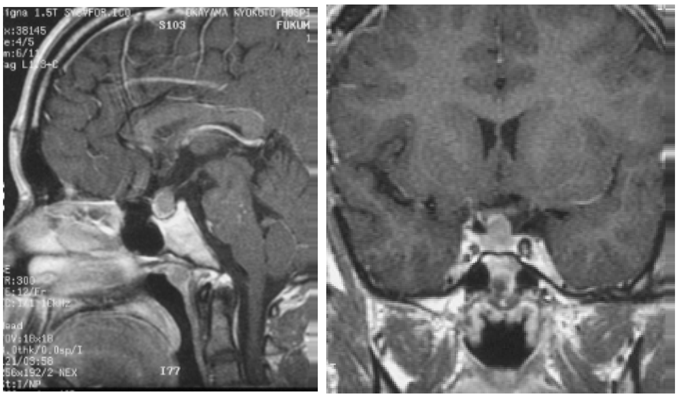
2001年08月07日



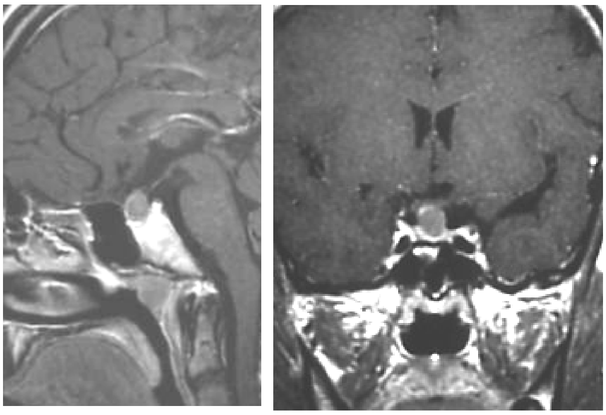
2000年10月10日



D　13.4mm　Max　27Gy
Marg 16.4Gy



2000年11月14日



2002年10月08日

症例 3: Cyst吸引後

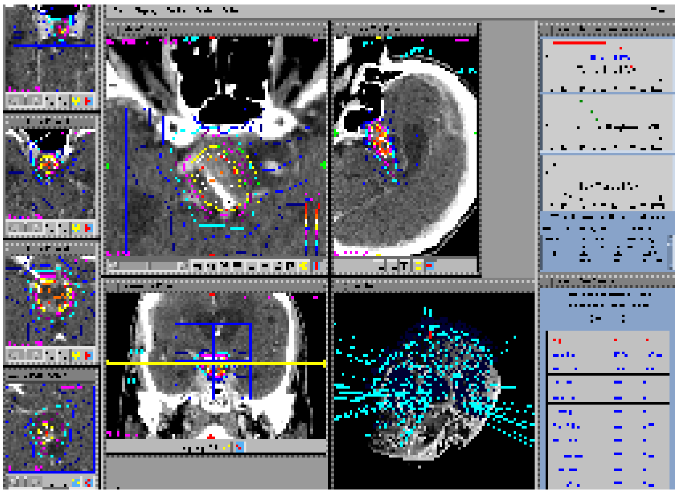
69歳　男性　当院にて頭蓋咽頭腫の術後であり　Ommaya‘s　Resorverが入っている。Cystが増大するたびに穿刺を繰り返し行ってきた。

2000年12月5日にもCystが大きくなり、穿刺吸引を行った。

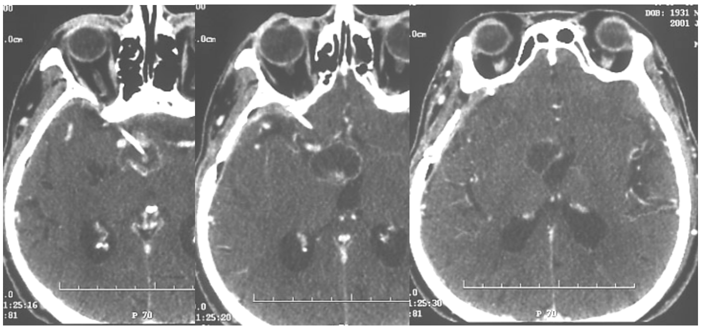
穿刺を繰り返すと感染の危険性もあり、Cyst増大抑制を目的としてサイバーナイフ治療をおこなった。患者様の都合で穿刺から治療まで約1ヶ月を経過してしまい、サイバーナイフ治療の時点ではCystは再増大していた。再度穿刺後に治療が望ましいと考えたが、患者様の同意が得られずそのままで治療となった。

治療前は数ヶ月ごとに嚢腫の穿刺が必要であったが、サイバーナイフ治療後は穿刺が不要となった。

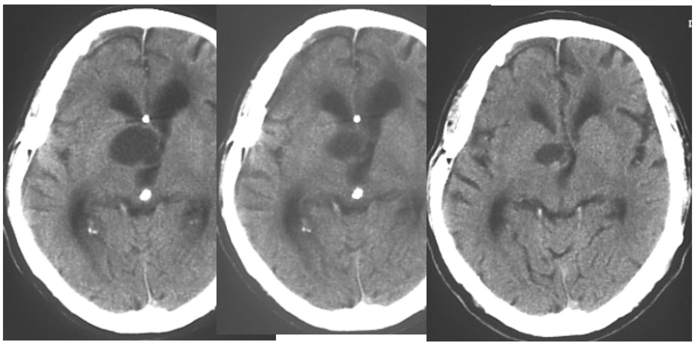
2001年9月11日（治療後約8ヵ月）ではCystは治療時よりやや大きいが、その後少しづつ縮小している。



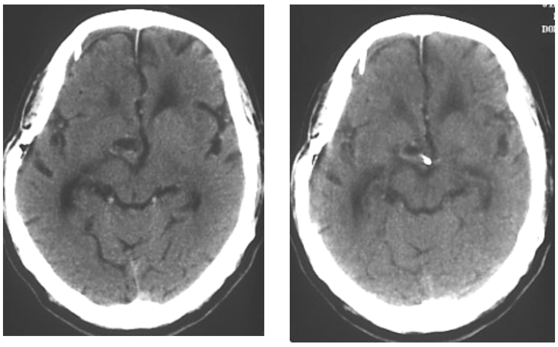
D17.9　Max 30Gy　Mar 19.9Gy
3Fr　SRS 13.9



2001年01月30日 治療時の造影CT
（　穿刺から約1ヶ月を経過しておりCystは再増大していた。再度穿刺後に治療が望ましいと考えたが、患者様の同意が得られずこのまま治療となった。）



2001年09月11日　　2002年01月08日　　2002年05月07日



2002年11月05日　　20 03年06日10日

悪性神経膠腫

Glioma・Malignant Glioma に対する放射線治療

通常は今までの治療成績や経験に基づいて外照射にて全脳照射や拡大局所照射を行うが、その臨牀効果は不十分であり、治療効果が少ない場合が多い。

最近、新しい治療装置である「定位放射線装置」を用いた放射線治療の報告が散見される。

定位放射線療法による利点として

1）治療期間短縮（例えば 8分割で治療をしても2週間程度で終了できる)。

2）局所へ放射線を集中し，周囲への照射を減ずることが出来るので、従来の限度とされた 60Gy以上の線量を局所および周辺へ集中して照射することが出来る。

しかし、欠点として

1）Evidenceが確立してない。

2）照射範囲がやや狭くなる傾向がある。

3）費用が少し高くなる等が考えられる。

悪性の脳腫瘍では腫瘍から数cm離れた部にも組織学的に腫瘍細胞を認めると報告されており、外照射では MRI T2WI や Flair法にて high intensityの範囲全体を照射するのが一般的となっているが、このような方法でもなお再発を防ぐことが出来てない。

3D-Conformal（IMRT)にて定位的な分割照射を行った報告で、病巣に90Gy以上の大量照射を行っても、周囲の浮腫などは軽微であったが、病巣部（90Gy を照射した部分）に腫瘍が再発した[G1)]との報告もあり、ただ単に高線量を腫瘍に照射するだけでは十分な効果が期待出来ないと思われる。

最近、MRSの測定が比較的容易に出来るようになり、CholineやCholine/NAAなどの2次元分布図を得ることも困難ではなくなってきている。これらの分布と MRI T2WI に於ける high intensity area は一致せず、MRS分布が腫瘍細胞の分布とよい相関を得た。Choline/NAA > 2.5 の部分には腫瘍細胞を認める（Sensitivity 90% Specificity 86%)[G2) G3)]との報告もあり、注目に値する。

MRSやPETの画像を治療計画の参考にした定位放射線治療を行えばさらに良い治療成績が期待できるものと考えている。

本項では、サイバーナイフで治療した神経膠腫や神経膠芽腫の症例を提示する。

参考文献

G1) Survival and failure patterns of high-grade gliomas after three-dimensional conformal radiotherapy.
Chan JL et al.
J Clin Oncol. 2002 Mar 15;20(6):1635-42

G2) MR-Spectroscopy Guided Target Delineation for High-Grade Gliomas
Andrea Pirzkall,M.D. et al.
Int J Radiat Oncol Biol Phys 2001 Jul 15;50 (4): 915-28

G3) Histopathological validation of a three-dimensional magnetic resonance spectroscopy index as a predictor of tumor presence.
McKnight TR et al.
J Neurosurg. 2002 Oct;97(4):794-802.

Astrocytoma Gr II

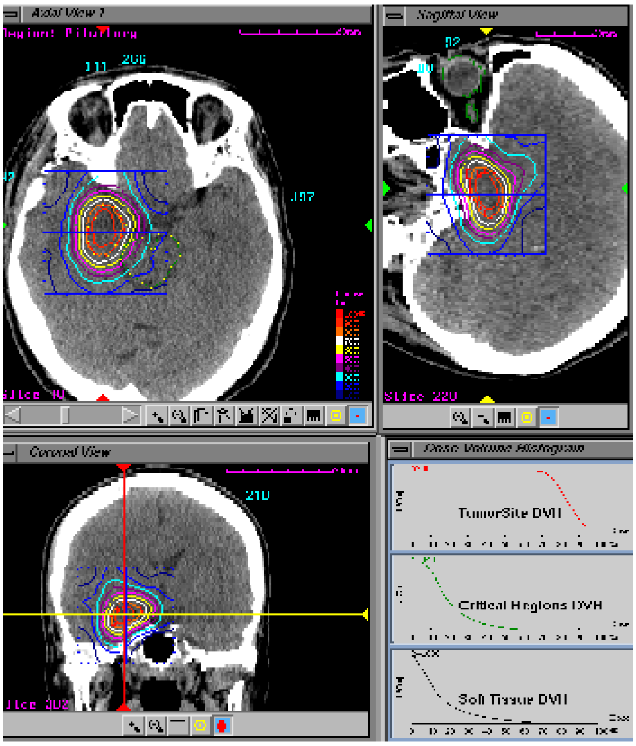
50歳女性　平成13年7月13日眩暈感があり14日S病院でMRIを撮ったところ、右側頭葉内側に梗塞の疑いありとの診断を受けた。当院で治療を希望され、同日来院され入院。MRI所見から腫瘍が強く疑われた。神経学的所見では記銘力含めて異常なし。Thallium SPECTは 陰性であり、MRS ではLactateのピークを認めなかった。７月２４日開頭biopsy。病理診断はAstrocytoma Gr IIであった。

患者様と配偶者にサイバーナイフによる治療をお勧めする理由や欠点などを十分説明のうえCyberKnife治療となった。

治療後10ヶ月でのMRIでは腫瘍摘出腔の壁にGd造影を認め、12ヵ月後にはさらに造影が強くなっていた。

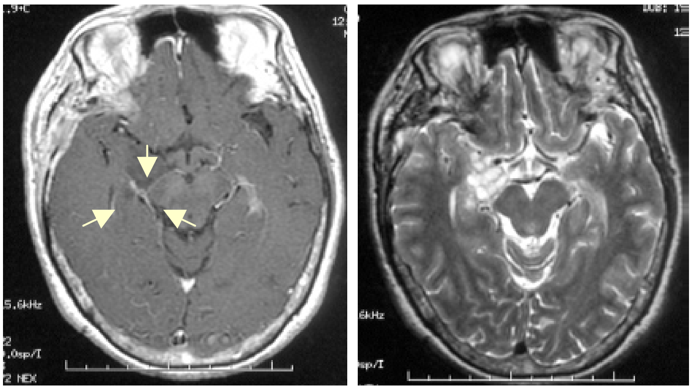
2002年3月より左同名性半盲出現、5月23日には左片麻痺も出現し、入院。Cyst状壁が造影されていたが、Tl SPECTにてUptake無く、ステロイド、グリセロールにて治療。5月29日のMRIではcystが消失していた。6月29日には症状改善し退院。

その後の経過観察で、造影される病巣は縮小、2003年10月30日（約26ヵ月後）のMRIでは一部がわずかに造影されるのみとなっている。

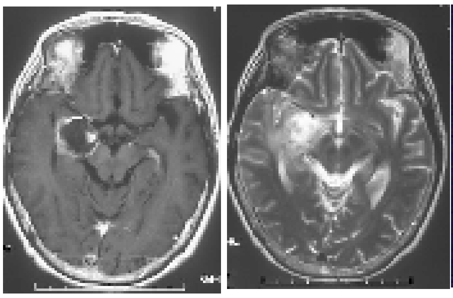


V:21.0ml　D:34.2mm^3
Max 38.5Gy Marg 29.0Gy　3frs
SRS=19.4Gy相当

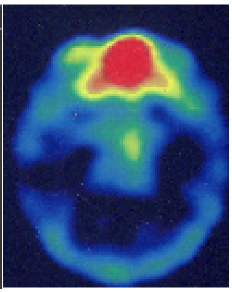
腫瘍摘出後周辺を含めて照射



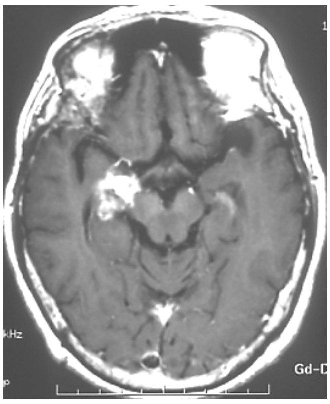
腫瘍摘出前のMRI（Gd造影T1とT2）



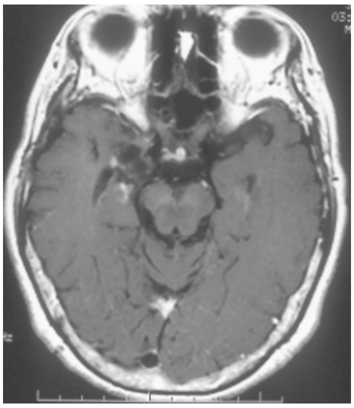
2002年5月29日　（約10 ヵ月後）



2002年5月28日
Tl SPECT



2002年8月8日
（約12 ヵ月後）



2003年10月30日
（約24 ヵ月後）

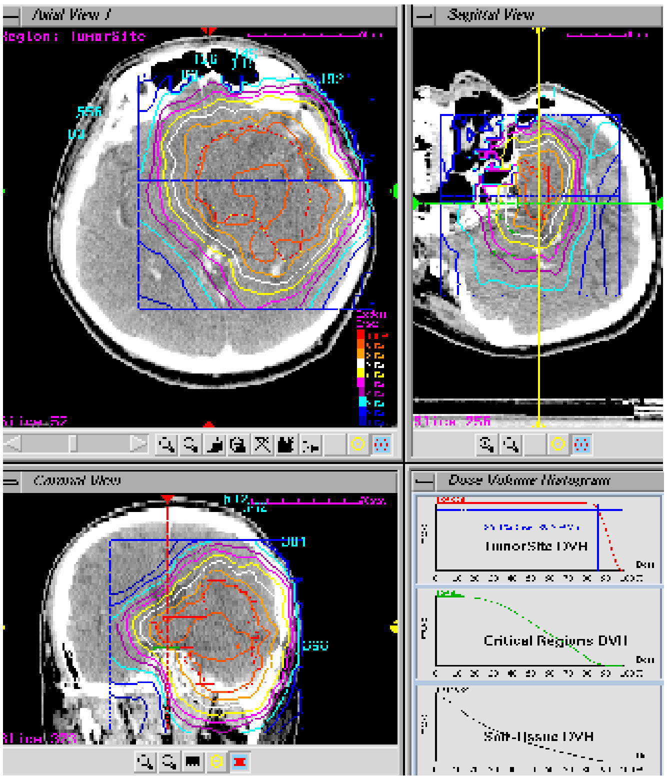
CK353

Glioblastoma

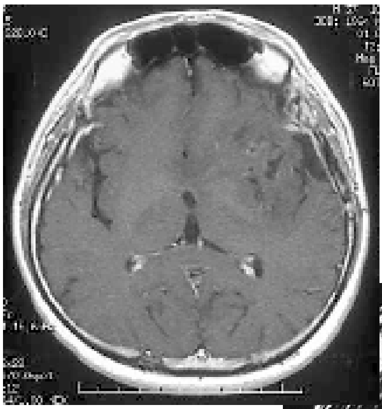
37歳男性　平成9年痙攣で発症。S病院脳神経外科で左前側頭葉腫瘍と診断、9月21日開頭部分摘出術施行。腫瘍は主として島回部にあり、組織はastrocytoma Gr II であった。後療法なしに経過観察していた。

平成13年9月　再診時にMRIを撮影したところ、腫瘍は造影されないが、T2 high intensity areaの拡大があり腫瘍増大と判断された。CyberKnife治療相談に10月22日来院。定位放射線療法の適応ありと判断し、T2,Flair　high intensity の部分へ照射することとした。治療計画を作成してみると、照射範囲が広く体積は165mlあり、直径換算すると 68mm であったため、8分割にて照射した。SRS(1回治療)に換算すると辺縁線量は18．4Gy相当になる。照射中大きなトラブルはなかったが治療前よりあった minor epilepsy は続いていた。

腫瘍の再発を認めるも約20ヵ月後も存命中である(治療後の画像は得られてない)。



Dosimetry　V:165ml　D:68.1mm
Max 41.7Gy　Marg 36.0Gy　8frs　SRT
(20.7/18.4Gy/SRS)



T1WI Gd

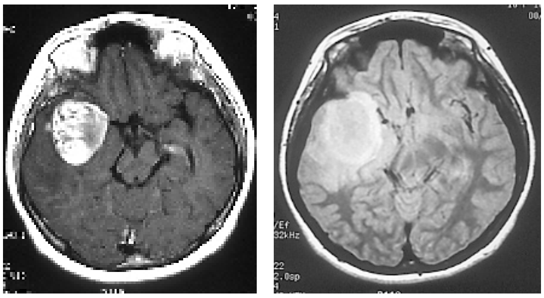
FLAIR

サイバーナイフ治療を選択した理由
1)治療期間を2週間程度に短縮できる。
2)腫瘍中心部には大量の照射が可能。
3)腫瘍周辺への照射を減少できる。

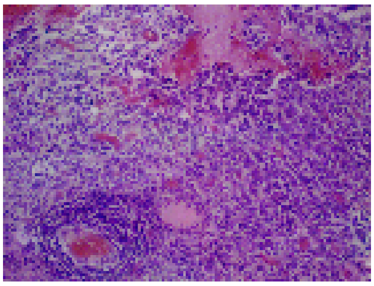
Glioblastoma

11才女性　2000年9月より霧視を訴える。10月より幻暈と頭痛も訴えるようになり、11月17日N医院受診。CTで右側頭葉に腫瘍を認め当院へ紹介となり、11月21日入院。左同名性半盲あり。11月27日開頭腫瘍全摘出術を施行。病理診断はAstrocytoma　Gr　IVであった。術後の後療法としてサイバーナイフによる放射線療法を追加した。12月12日より5分割定位放射線療法を行った。

治療後約3年を経過したが、再発を認めない。

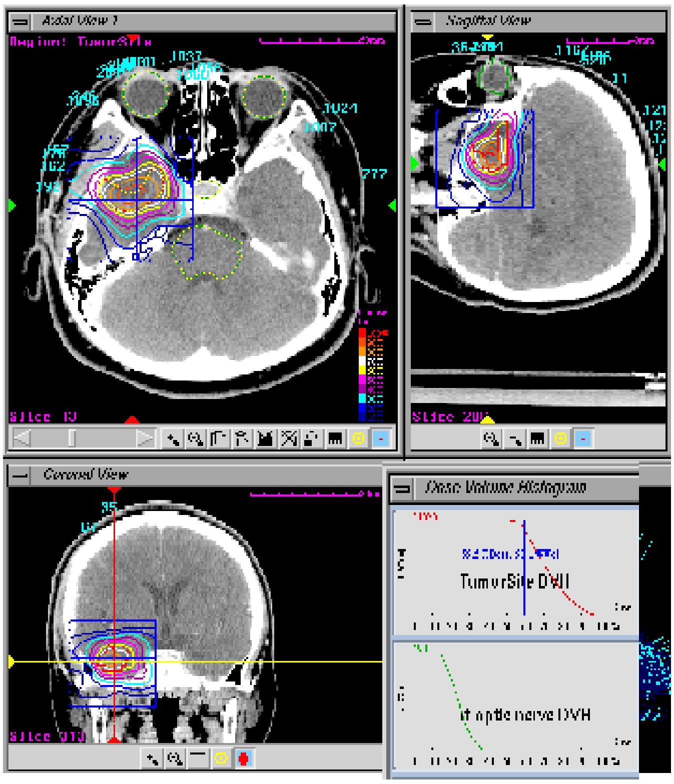


2000年11月21日

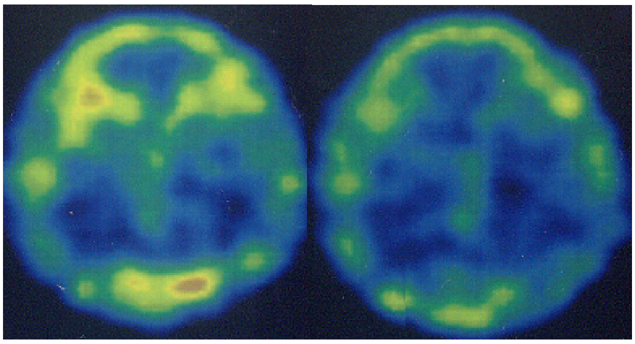


Astrocytoma Gr IV

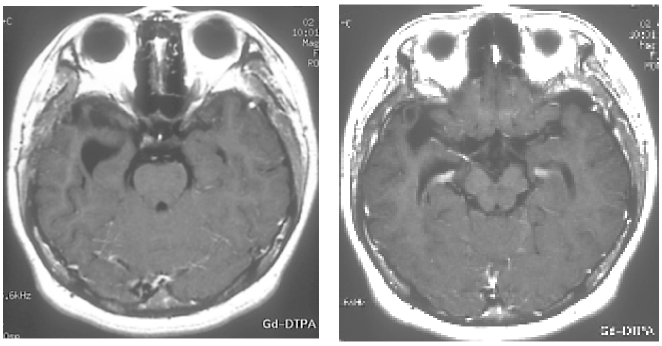
2000年12月5日



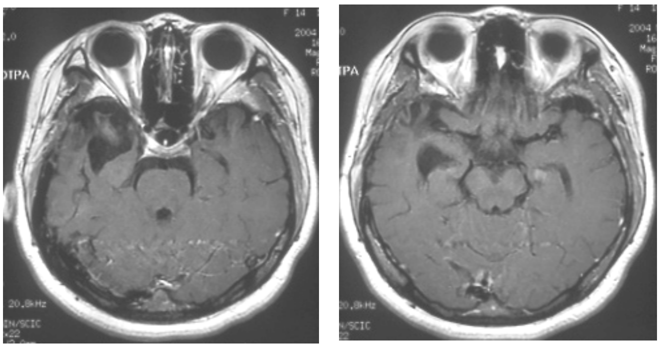
V:11.6ml　D:28.1mm　Max 61.3Gy
Marg 36.5Gy　5Fr　Marg SRS 20.6Gy相当



2001年3月15日　Tl SPECT



2002年8月6日　22ヵ月後



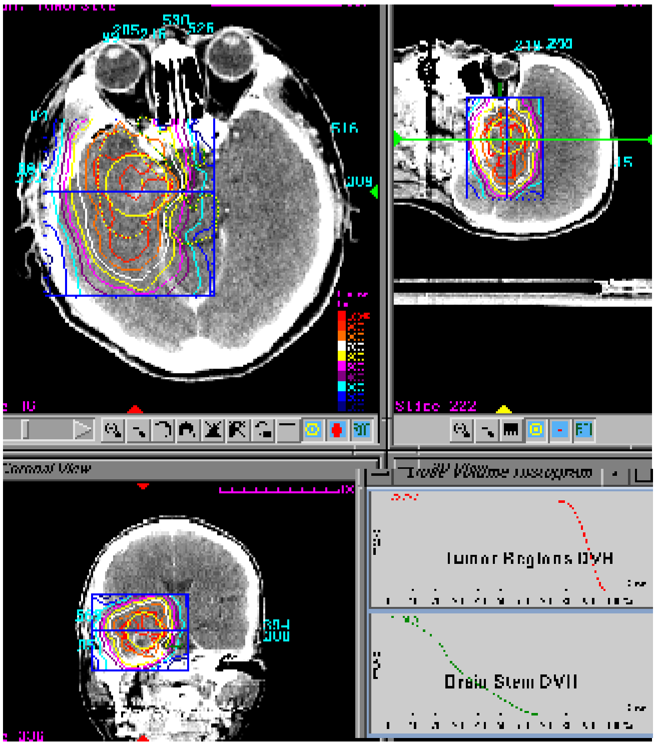
2004年5月11日　22ヵ月後

glioma

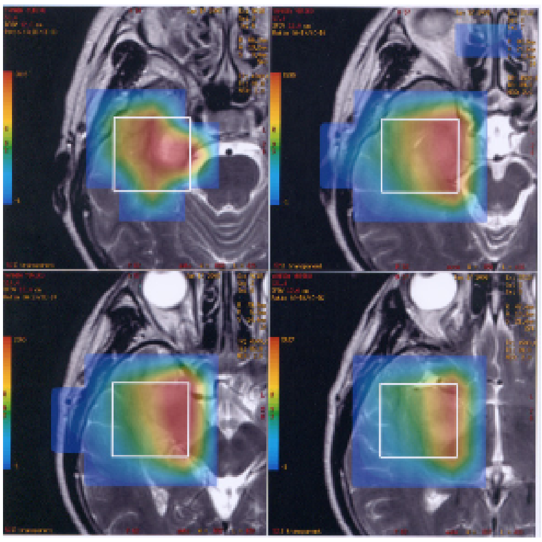
67歳　女性　2001年6月より耳鳴が出現した。耳鳴が頑固に続くため2002年1月22日K病院受診。2月2日頭部MRで右側頭葉内側に梗塞を疑わせるT2 high lesionを認めた。経過を観察していたが、2002年12月11日のMRにてGdで造影されるようになり体積も増大してきた。12月末当院へ来院。 2002年1月17日入院。20日開頭腫瘍摘出術（生検）施行。病理診断は low grade glioma だった。しかし、腫瘍中心部は悪性度の高い部分があると予想されたためサイバーナイフによる放射線治療を追加した。治療計画には生検前に撮影したMRS画像（Cho/NAA)を参考に治療計画を作成した。治療は1月30日より6分割で行った。急性期の副作用なし。

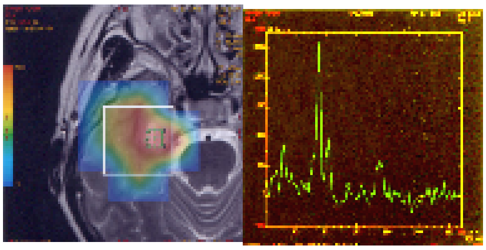
2003年12月9日　治療した部位に腫瘍が再発し、さらに反対側にも新たに腫瘍が出来ている。

2004年1月6日転倒し急性硬膜下血腫を合併しADL低下。腫瘍も次第に増大し、2004年2月20日死亡された。

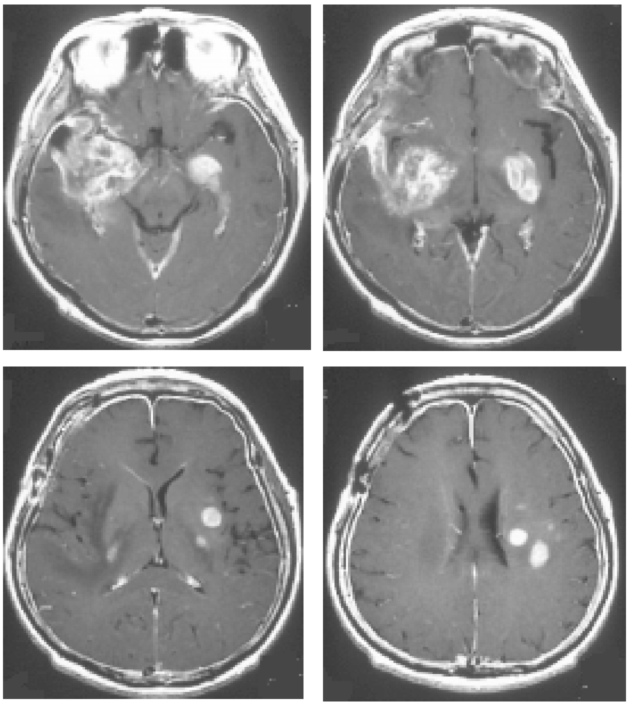


V:28.7ml　D:38.0mm
Max 35.3Gy Marg 29.7Gy 6frs
Margin　SRS 16.7Gy
（多分割外照射 37.0Gy 相当）





2003年1月17日　MRS　Cho/NAA　Map



2003年12月9日

Gr III Astrocytoma

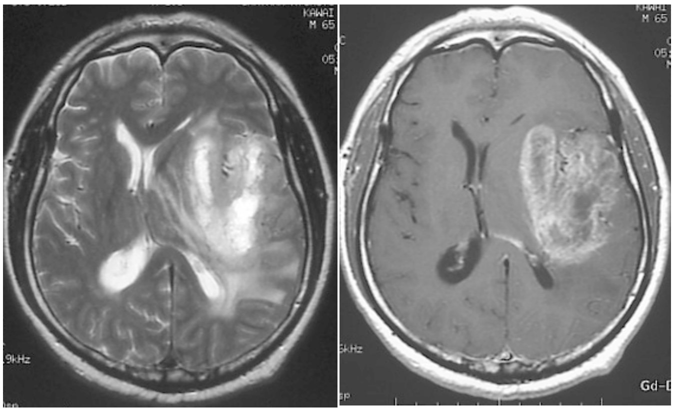
65歳　右利き男性　2003年2月　言葉がおかしい事や右手足の動きが悪いことに妻が気づきM病院受診。MRIで左側頭葉に腫瘍がみつかり当院へ紹介となり、2月24日入院となった。

入院時　KPS(Karnofsky Performance Status) 60% Non-fluent aphasia, minimal rt hemi-paresisあり。 術前検査(DSA, Thallium SPECT, MRS)でGlioblastoma Multiformeが強く疑われた。3月3日開頭腫瘍摘出術。病理診断はAstrocytoma　Gr III であった。

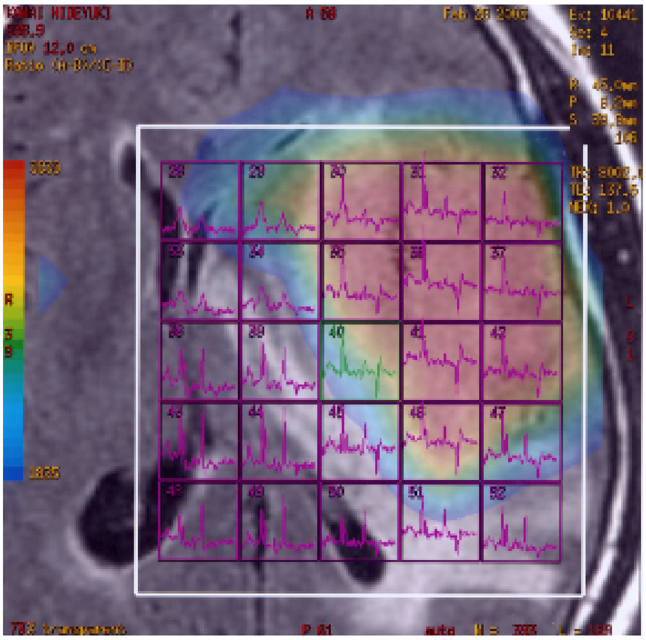
腫瘍亜全摘後にサイバーナイフによる放射線治療を追加した。初期有害事象なし。KPS　70%で3月30日退院

2003年6月19日MRIにて腫瘍増大を認めた。

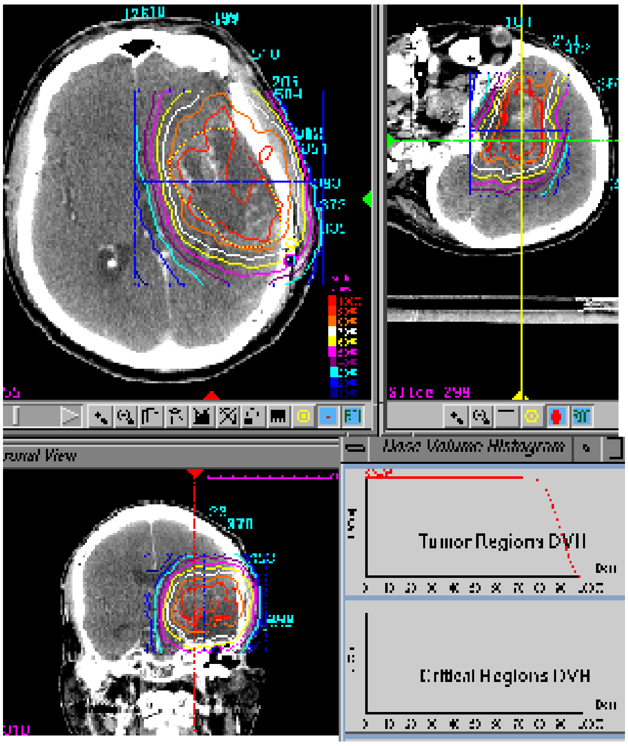
2003年9月12日死亡された。



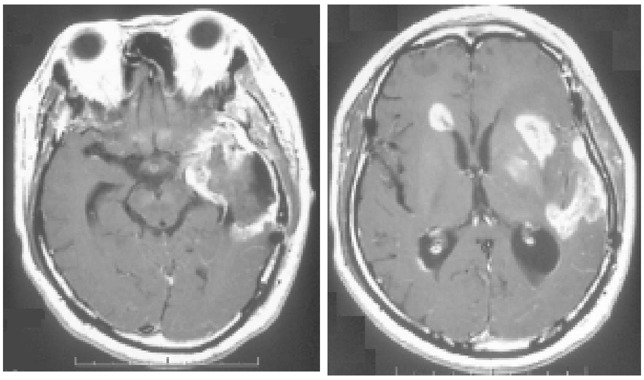
2003年2月28日(術前)MRI　T2　Gd T1



2003年2月28日(術前)MRS　Cho/NAA　Map



V:92.5ml　D:56.1mm
Max 47.9Gy Marg 39.8Gy 8frs
Margin　SRS 19.9Gy
(通常の外照射 49.7Gy 相当)



2003年6月19日MRIにて腫瘍増大あり、
反対側にも播種性進展をおこしている。

小脳 Astrocytoma Gr II

副作用（放射線壊死）

12歳　女性　頭痛などの症状にてK病院を受診小脳腫瘍の診断で手術を受けた。腫瘍辺縁が不明瞭であり、手術は部分摘出に終わった。

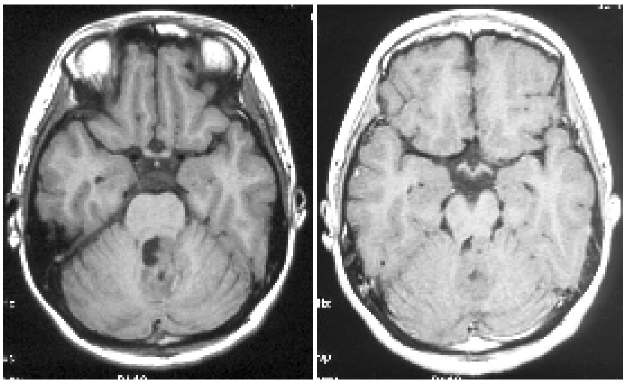
術後残存腫瘍が大きく、家族が心配して当院へ相談に来院された。サイバーナイフ治療を希望され、外来治療となった。

腫瘍は橋に接しており、辺縁線量30Gyを3分割(1回10Gyを3回)で行った。

照射後腫瘍部に一致して次第にGd造影が強くなり、運動失調や頭痛が出現。

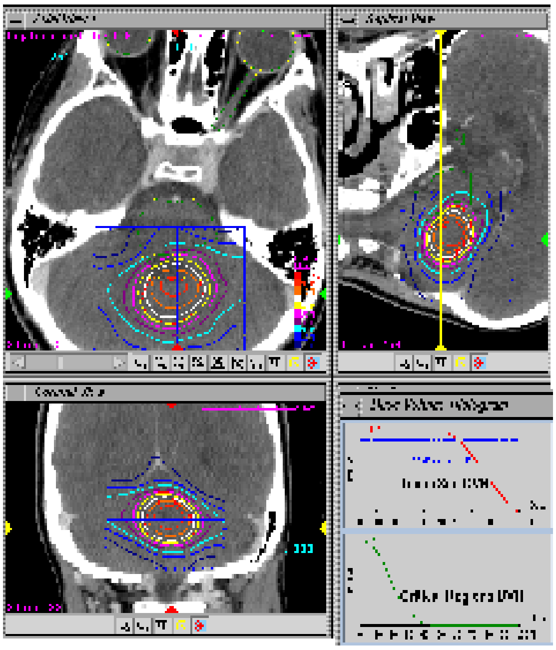
Tl PECT検査にて陽性であり、術後6ヶ月にて手術を行ったところ放射線壊死であった。ステロイドやグリセロールの投与にても腫大が続き水頭症を来したためシャント手術を追加した。

その後はGdの造影も減少してきており少しずつ改善に向かっている。

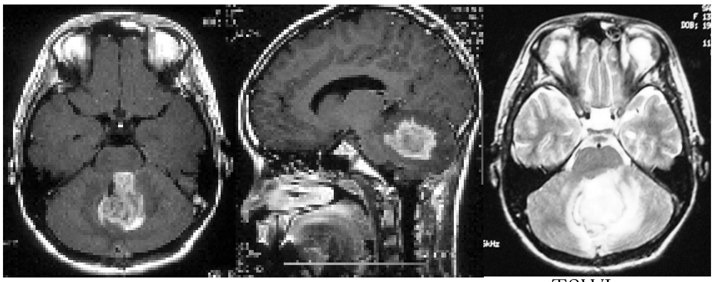


T1　　　Gd T1

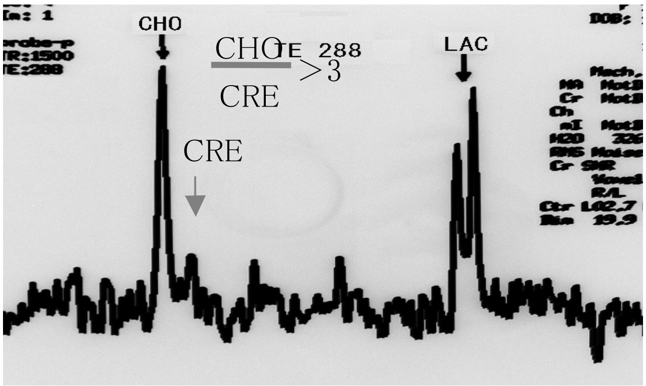
照射前（腫瘍部分摘出後）
腫瘍はGdにてほとんど造影されなかった。



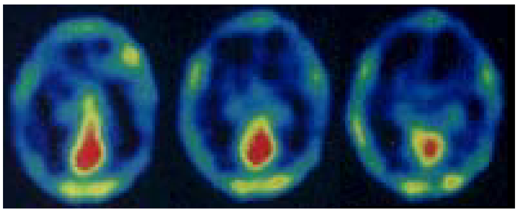
V:10.3ml　D:27.6mm　Max 49.3
Marg 30.4Gy　3frs　SRS 20.2Gy相当



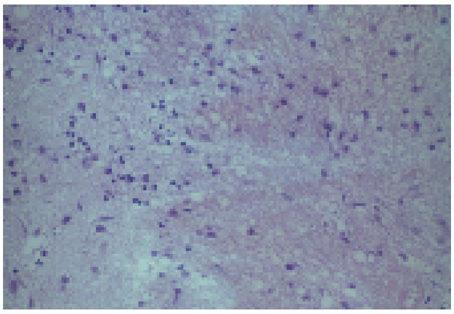
5ヶ月後　MRI GdT1　　T2WI



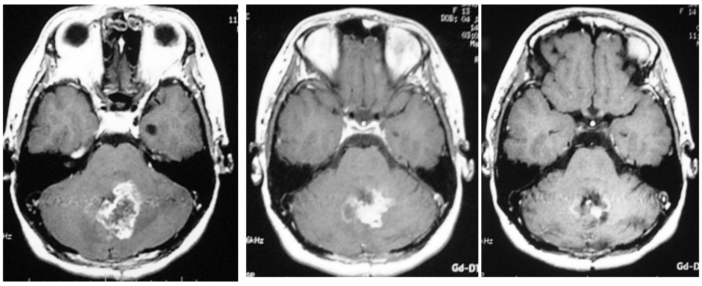
5ヶ月後　MRS



5ヶ月後
SPECT



組織（6ヶ月後）
放射線壊死

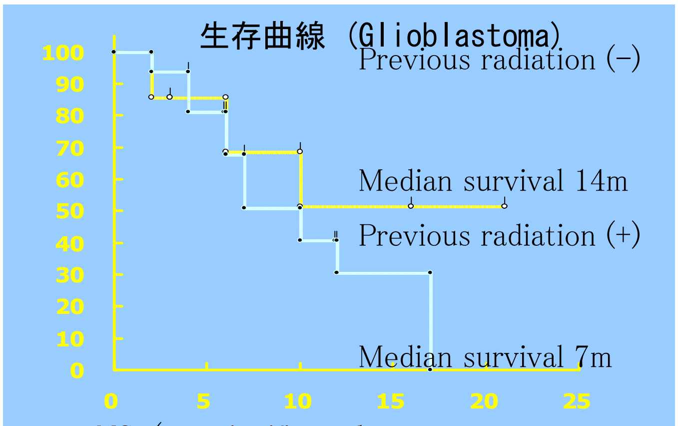


造影T1
8ヵ月後　　12ヵ月後　　19ヵ月後

生存率・脳浮腫・壊死等

生存率

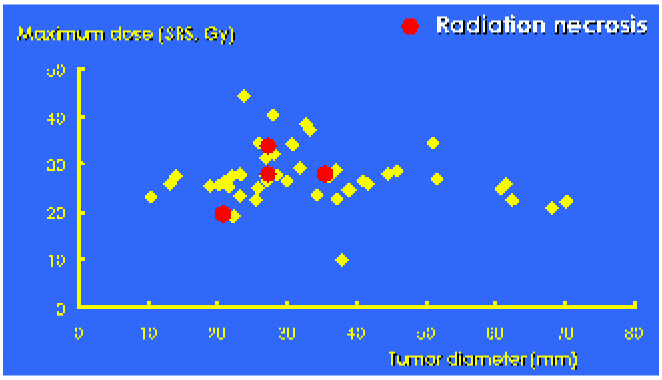
当院サイバーナイフで治療したGlioblastomaの生存率を外照射の既往有無で検討した。カプランマイヤー曲線は下図に示すごとくであり、サイバーナイフ照射前に放射線治療を受けてなかったグループのほうがやや生存期間が長い傾向を認めたが統計学的に有意差は認めなかった。



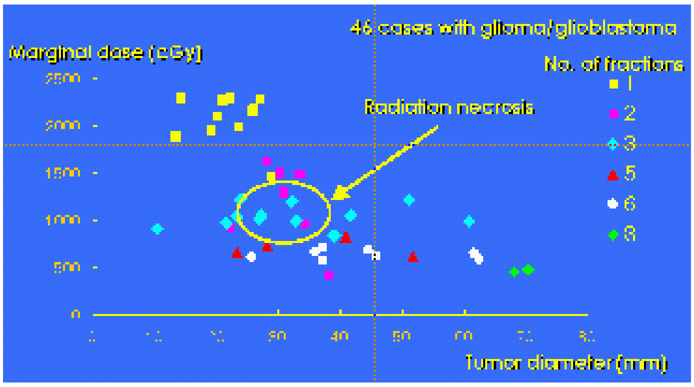
＊NS (not significant between two groups)

放射線壊死

画像上放射線壊死と考えられた症例をグリオーマおよびグリオブラストーマ45例中4例で経験した。その一覧は下図の如くであり、1回治療に換算した最大線量(縦軸) と 腫瘍直径(体積より換算)を横軸に示したものを提示する。特定の相関を認めなかった。



1回治療に換算した辺縁線量(縦軸) と 腫瘍直径(体積より換算)を横軸に示したものを分画数ごとに1分画(黄色)から8分画(緑)までに分けて提示する。壊死を起こした症例は黄色の楕円の範囲内の症例であり、分画数や辺縁線量等との相関を認めなかった。



Dose, Volume, No. of fractions and Dose/fraction

今までサイバーナイフで治療した症例を検討した段階では、生存期間等に有意の傾向は得られてないが、短期間で治療を終了できる点は短い予後人生を自宅で少しでも長く生活していただくことが出来る点からも、有効であると考える。

放射線治療の副作用として放射線壊死は重大であるが、なぜ放射線壊死が起きるのか等に関しては一定の傾向が得られなかった。個人毎に感受性が異なるのではないかと考えられている。

放射線による毒性が生じやすい患者様を見つけ出す方法として、Riegerらは、血液検査で遺伝子の活性を調べる方法を提案している[G1]。

これからもさらに症例を追加して検討する予定である。

G1) Toxicity from radiation therapy associated with abnormal transcriptional responses to DNA damage.
Rieger KE, Hong WJ, Tusher VG, Tang J, Tibshirani R, Chu G.
Proc Natl Acad Sci U S A. 2004 Apr 27;101(17):6635-40. Epub 2004 Apr 19.

C 頭頸部腫瘍

サイバーナイフは分割照射を容易に行うことが可能であり、また、治療計画では、Inverse Planning が可能であるため標的臓器、重要臓器を指定し、標的臓器への投与線量および重要臓器への耐容線量を決めることで至適な線量分布を作成する事が可能である。

頭頸部腫瘍は一般に放射線感受性が高く、放射線治療の適応となることが多い。しかし、頭頚部領域は複雑で狭い領域に視神経、脳幹、脊髄などの重要臓器が存在しており、重要臓器を避けて照射することは通常の外部照射では困難なことが多い。

頭頸部腫瘍では、周囲の浸潤部位やリンパ節等を含んで治療を行う必要がある場合も多く、すべての症例が定位的治療の適応となるわけではない。

そこで、外照射治療後の再発例など、従来の放射線治療では治療困難な症例を主としてサイバーナイフ治療を行いその効果を検討した。

頭頸部腫瘍18例につき検討した。原発部位は頭蓋底腫瘍4例、上咽頭癌3例、副鼻腔癌2例、鼻腔腫瘍2例、涙腺腫瘍1例、中咽頭癌1例、後腔底癌1例、頬粘膜癌1例、頸部リンパ節転移3例であった。治療線量は辺縁線量で 12-38Gy であった。治療後の経過観察期間 1.7-11.9 ヶ月（中央値 7.1 ヶ月）にて、奏功率（CR+PR）は 44.4％ 局所コントロール率（CR+PR+NC）は 77.8％であった。（表1）

なお、症例の詳細は文献[T1)]をご参照ください。

表1 対象と治療結果（「頭頸部腫瘍に対するサイバーナイフ治療」 より引用）

No.	治療対象部位	病理組織	既往累積線量	CTV(cm³)	辺縁線量	一次効果	有害反応
1	上咽頭*	扁平上皮癌	72Gy/60f	7.7	12Gy/1f	PR	なし
2	LN	扁平上皮癌	40Gy/20f	5.9	21Gy/1f	NC	なし
3	鼻腔	悪性黒色腫	60Gy/30f	11.5	25Gy/1f	NC	なし
4	上咽頭	扁平上皮癌	70Gy/35f	67.7	15Gy/3f	PD	皮膚炎grade1
5	中咽頭*	扁平上皮癌	40Gy/20f	33.4	22Gy/3f	PD	粘膜炎grade3
6	頭蓋底	平滑筋肉腫	60Gy/30f	16.2	27Gy/3f	PD	なし
7	副鼻腔	扁平上皮癌	60Gy/30f	26.2	31Gy/3f	PR	なし
8	頭蓋底	腺様嚢胞癌	45Gy/25f	16.3	33Gy/3f	PR	外転神経麻痺 grade3
9	頭蓋底	骨肉腫	45Gy/5f	40.7	28Gy/5f	PR	なし
10	上咽頭	扁平上皮癌	60Gy/30f	80.5	32Gy/5f	PD	なし
11	頬粘膜	扁平上皮癌	60Gy/30f	29.8	32Gy/5f	PR	皮膚炎grade1
12	口腔底	腺様嚢胞癌	60Gy/30f	62.0	35Gy/5f	PR	なし
13	副鼻腔	扁平上皮癌	36Gy/18f	36.7	37Gy/6f	PR	骨髄炎grade2
14	LN	神経芽細胞腫	−	9.6	22Gy/1f	NC	なし
14	鼻腔	悪性黒色腫	−	2.6	23Gy/1f	NC	なし
15	涙腺	腺様嚢胞癌	−	9.0	18Gy/2f	CR	結膜炎grade1
17	頭蓋底	腺様嚢胞癌	−	40.7	34Gy/3f	NC	なし
18	LN	乳頭状腺癌	−	33.7	38Gy/3f	PR	嘔気grade1

*: 外部照射後のboost例, CTV: clinical target volume, LN: リンパ節転移

本表のNoと症例の番号は同じではありません。

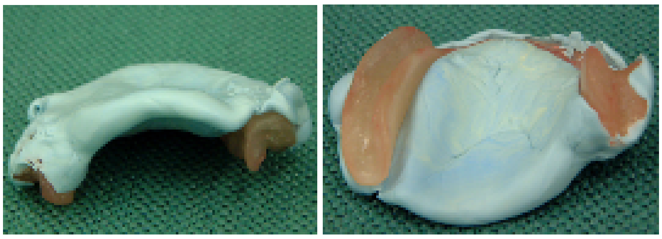
文献
T1) 頭頸部腫瘍に対するサイバーナイフ治療
姫井健吾他
頭頚部腫瘍 28(1) 186-191, 2002

症例1：進行舌癌

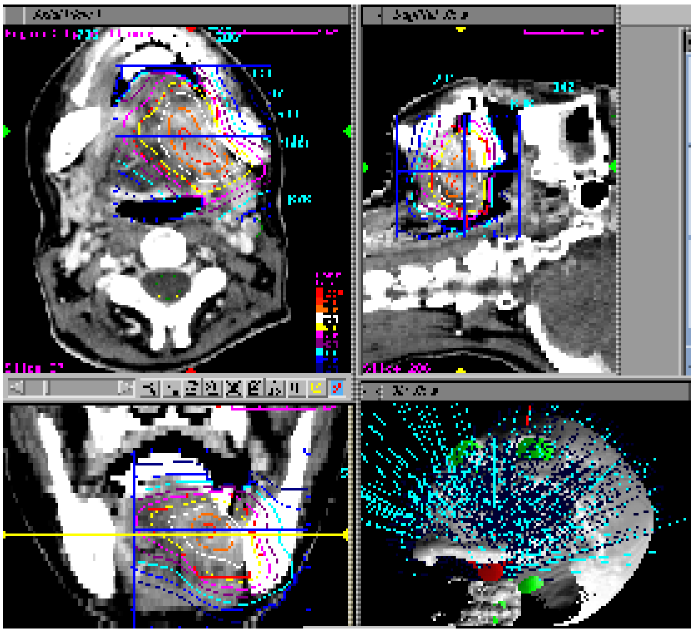
（外部照射50.4Gy後、腫瘍残存例）

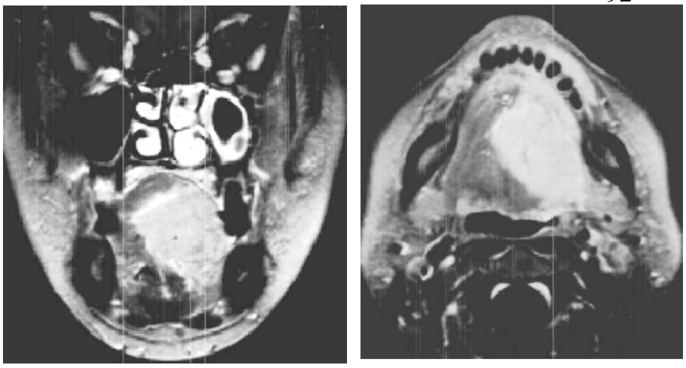
49歳、女性。平成12年10月より左顎下部腫脹、舌運動障害、疼痛出現。平成13年1月　O病院口腔外科を受診。CT、MRIにて舌左側に4cm大の腫瘍および左上内深頸リンパ節、左顎下リンパ節腫脹を認めた。生検にて扁平上皮癌T4N2bM0、ⅣA期と診断。放射線治療（両側頸部+両側鎖骨上窩を含め、1回1.2Gy、一日二回のhyperfractionationにて開始するも口腔内粘膜反応を強く認め、50.4Gyにて外照射を終了した。追加治療としてサイバーナイフ治療開始となる。

治療後3年の時点で局所再発は認められていない。

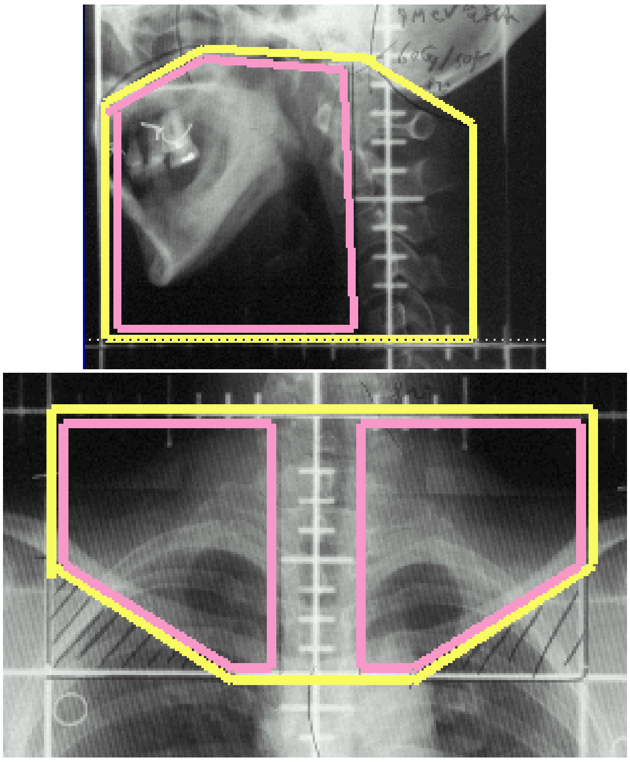


歯科用ゴム質弾性印象材(エクザファイン)にてマウスピースを作成し舌の動きを制限した。





外照射前　MRI



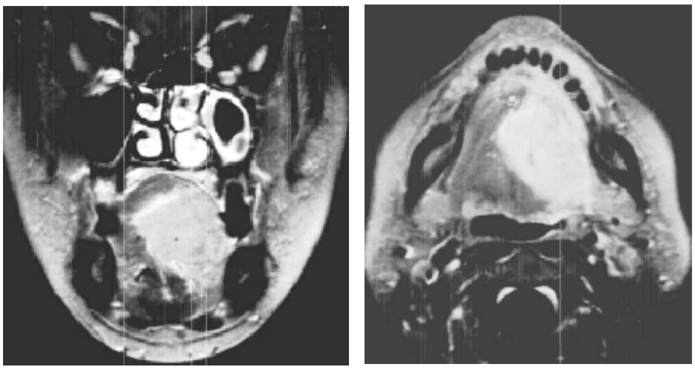
外照射： 4MV Xray
頸部：左右対向二門照射
鎖骨上窩：前後対向二門照射
1.2Gy/fr、10fr/weekで開始
45Gy後脊髄領域は電子線へ変更し
total 50.4Gy

外照射50.4Gy後の追加照射

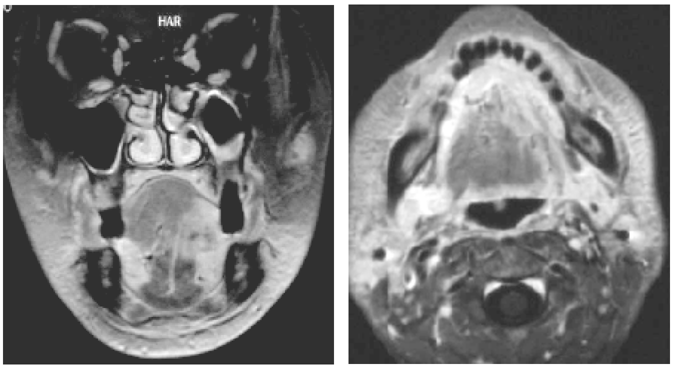
CTV	35.0cc
最大線量	64.7Gy
辺縁線量	33.7Gy
最小線量	21.7Gy
SRT	5回

治療後の経過等は次ページへ続く

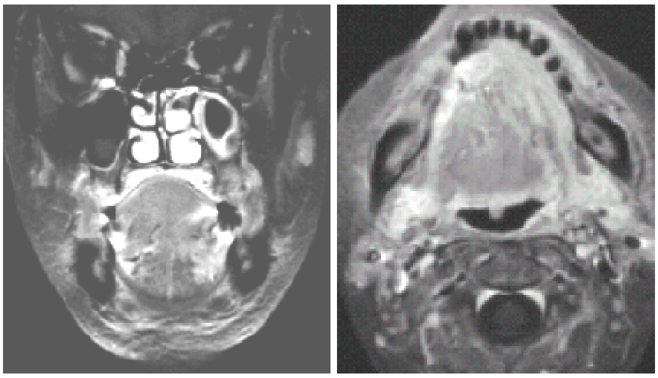
症例1：進行舌癌　（続き）



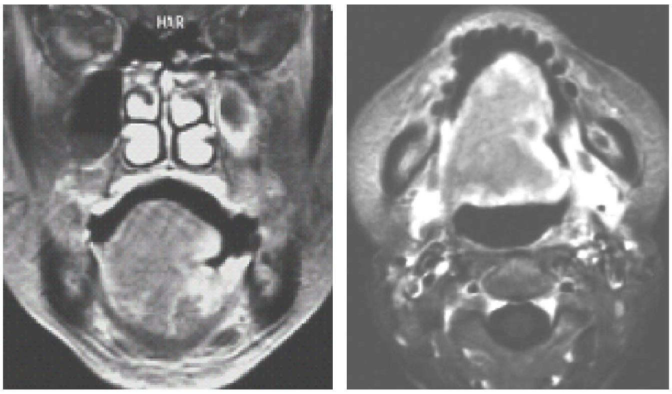
サイバーナイフ治療前



治療後　1ヶ月



治療後　4ヶ月



治療後　7ヶ月

治療後　2週目
粘膜炎を認める

治療後　9週目
粘膜炎および舌の運動
制限の改善

治療後　6カ月
左口腔底に潰瘍を認める

症例 2:上顎洞癌術後再発

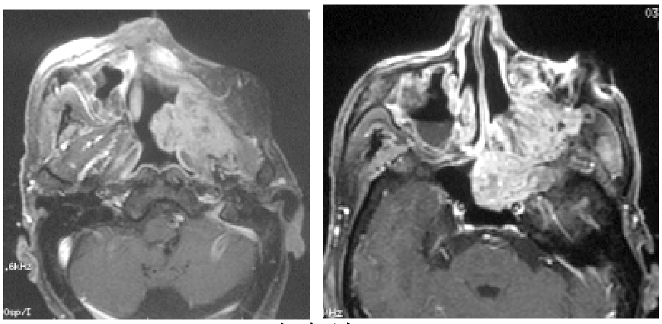
(腺様嚢胞癌　外照射66Gy後の再発)

平成2年4月にA病院口腔外科にて上顎洞癌、腺様嚢胞癌と診断され手術施行。 平成6年左頬粘膜に腫瘍を触れ、B病院にて手術。平成8年11月にC病院のMRIにて再発を指摘され、平成9年1月A病院にて、放射線治療(外照射)66Gy施行。

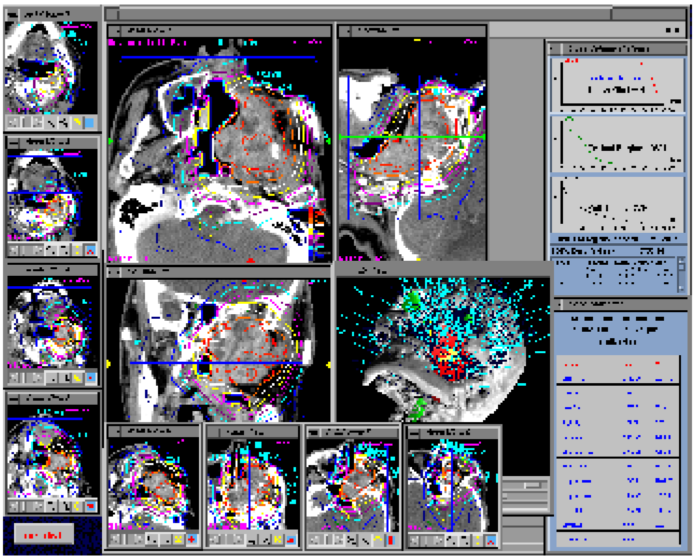
平成12年8月のCTにて左上顎に不均一な再発腫瘍を認めた。またその時点で多発性肺転移も認められた。平成13年11月に鼻出血および疼痛を持続するために止血および除痛を目的にサイバーナイフ治療施行。

1ヵ月後、3ヵ月後と腫瘍は縮小傾向を認め、また止血および除痛効果を認めた。

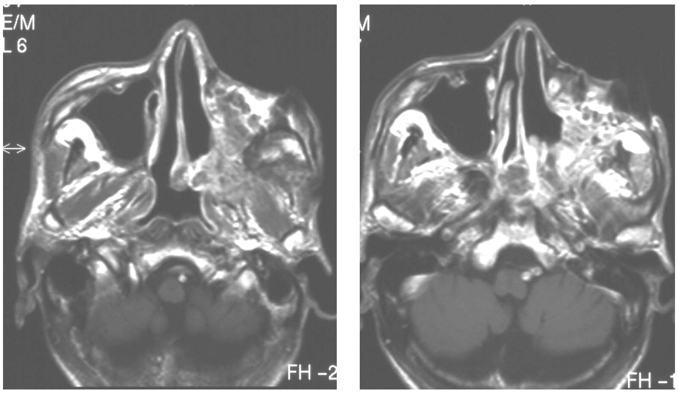
治療後、約17ヵ月後に転移性肺腫瘍の増悪を認めたが、治療部位は制御されていた。



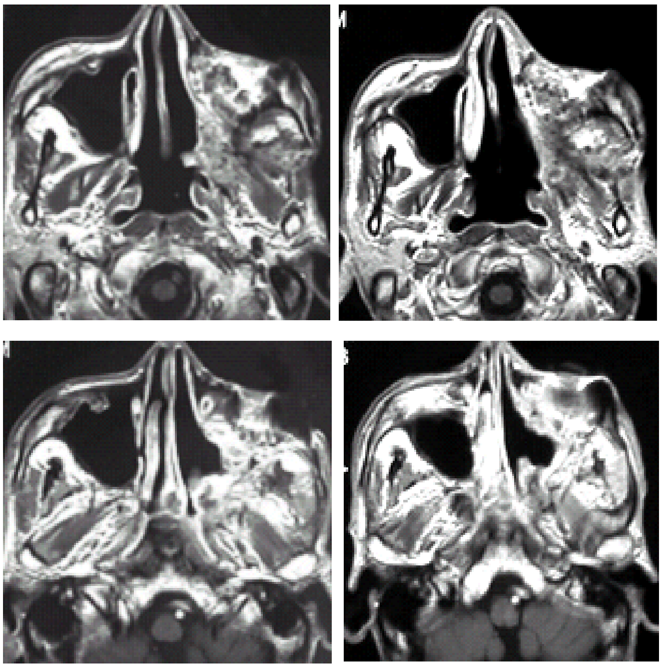
治療前



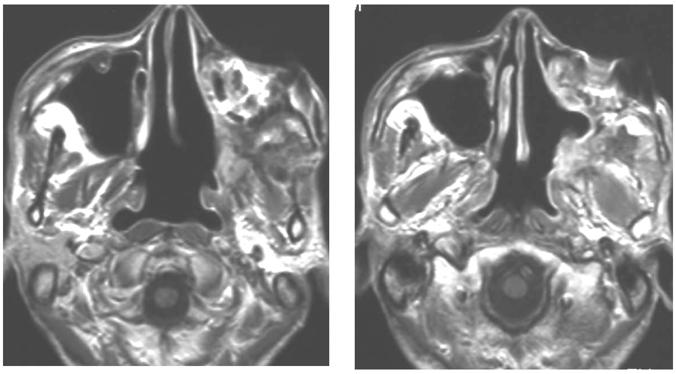
CTV　　　　　109.1cc
最大線量 36.3Gy　辺縁線量　　30.0Gy
最小線量 21.6Gy　SRT　　　　5回



1ヶ月後



3ヶ月後



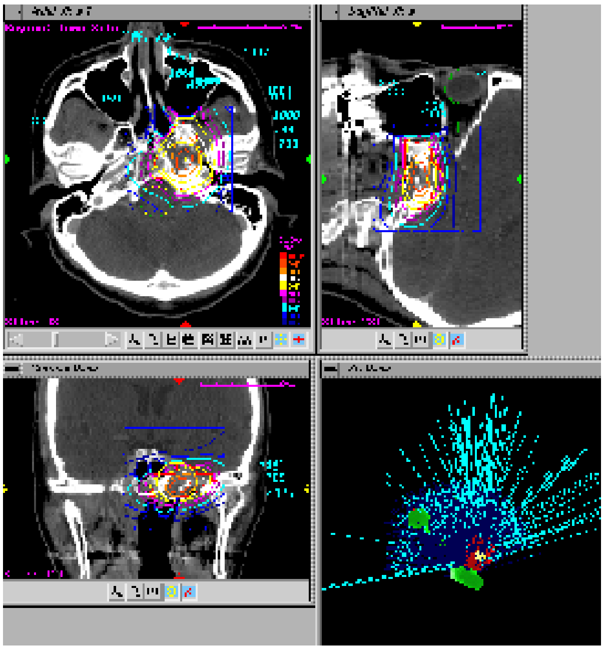
12ヶ月後

症例 3：上咽頭腫瘍再発（腺様嚢胞癌）

（外部照射45Gy後再発例）

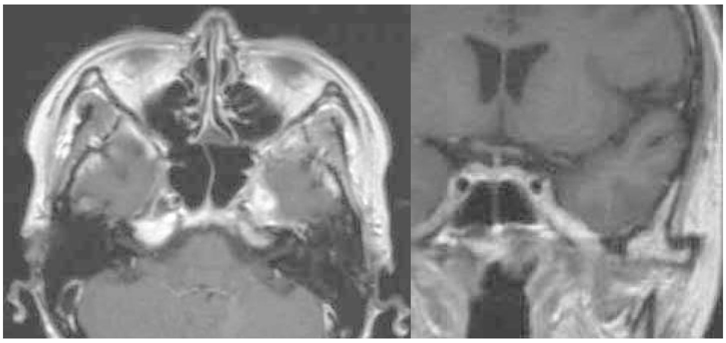
35歳、女性。平成10年12月S病院にてCT、MRIにて上咽頭から左中頭蓋底に骨破壊像を伴う腫癌を指摘された。上咽頭からの生検にて腺様嚢胞癌と診断され、放射線治療を3門照射にて45Gy施行。照射直後のMRでは腫瘍は若干縮小を認めた。その後、平成12年10月のMRIにて腫瘍の増大を認めたたためサイバーナイフ治療施行。90％辺縁線量で 33Gy／3fr 照射した。

治療後1ヵ月 目のMRにて腫瘍の縮小を認めたが、治療後約6ヶ月に左外転神経麻痺出現。MRIにて腫瘍は不変であり、サイバーナイフ治療の有害反応と考え神経内科にてステロイド治療を施行するも軽快せず。治療後約8ヶ月のMRIにて腫瘍増大および左側頭葉への直接浸潤を呈する再発を認めた。

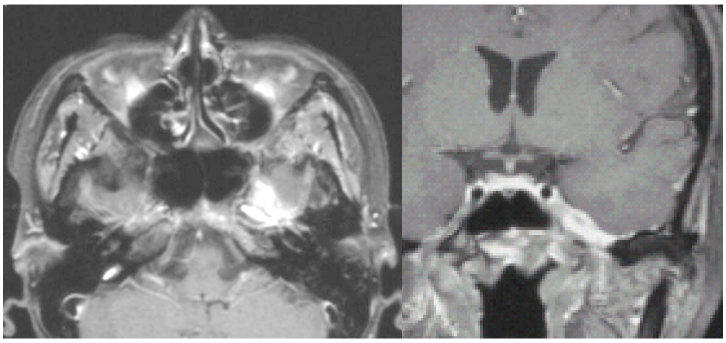


CTV	40.1cc
最大線量	60.7Gy
辺縁線量	32.9Gy
SRT	3回

治療前



治療後 2ヶ月



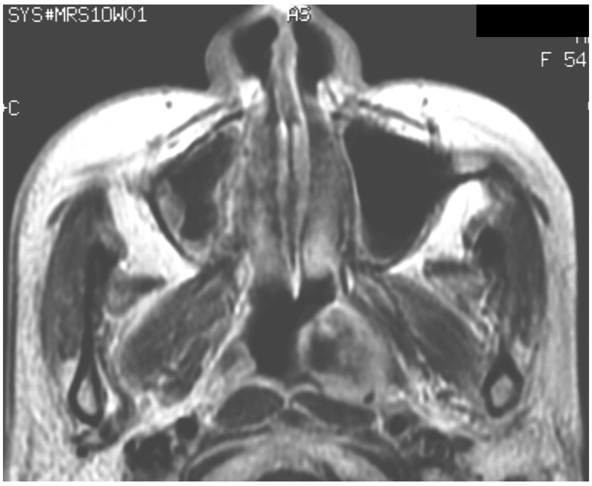
治療後 6ヶ月

治療後 8ヶ月

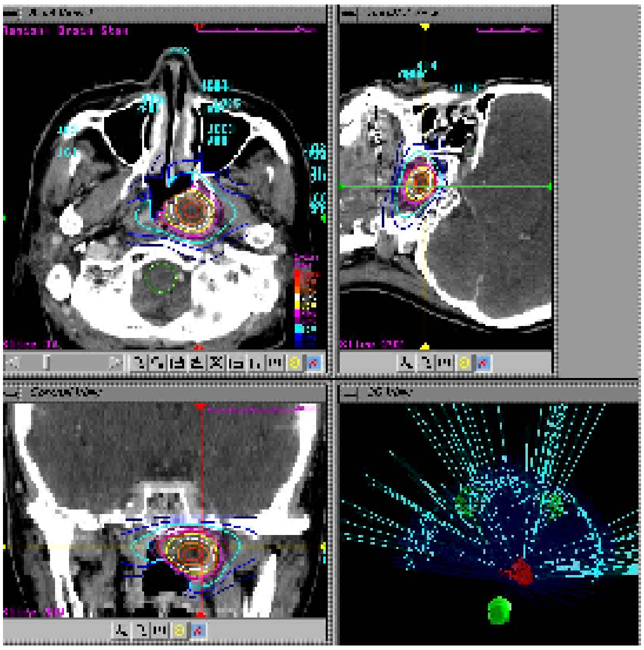
症例 4：上咽頭腫瘍再発

（外部照射72Gy後、腫瘍残存例）

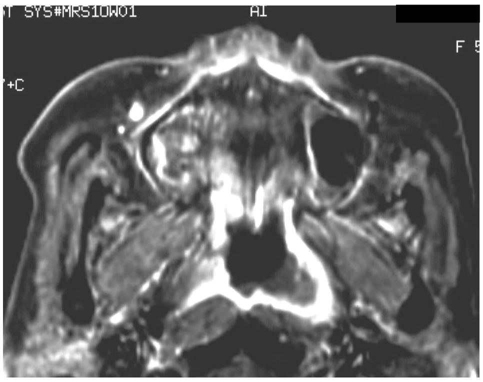
54歳、女性。平成12年、鼻出血で発症。F病院で上咽頭癌(扁平上皮癌)、T1N0M0、Stage Ⅰ と診断された。化学療法、放射線治療(72Gy)を施行された。治療後、上咽頭に残存腫瘍を認め追加治療目的でサイバーナイフ治療となった。
治療後約3年の時点では局所制御されている。
明らかな有害反応は認めていない。



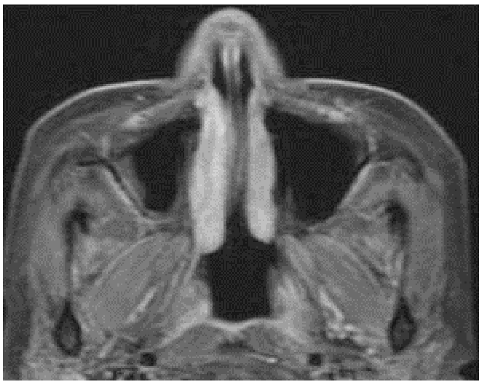
治療前



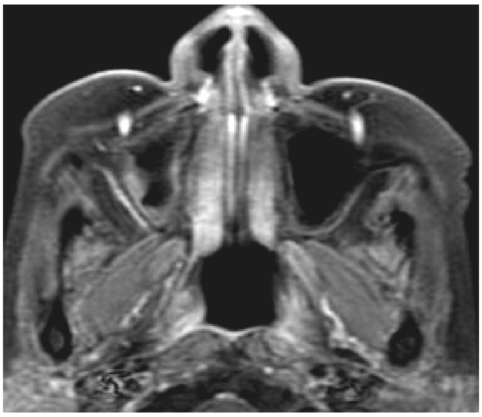
CTV	7.7cc
最大線量	24.0Gy
辺縁線量	12.1Gy
SRS	1回



治療後 1ヶ月



治療後 5ヶ月



治療後 8ヶ月

治療後 11ヶ月

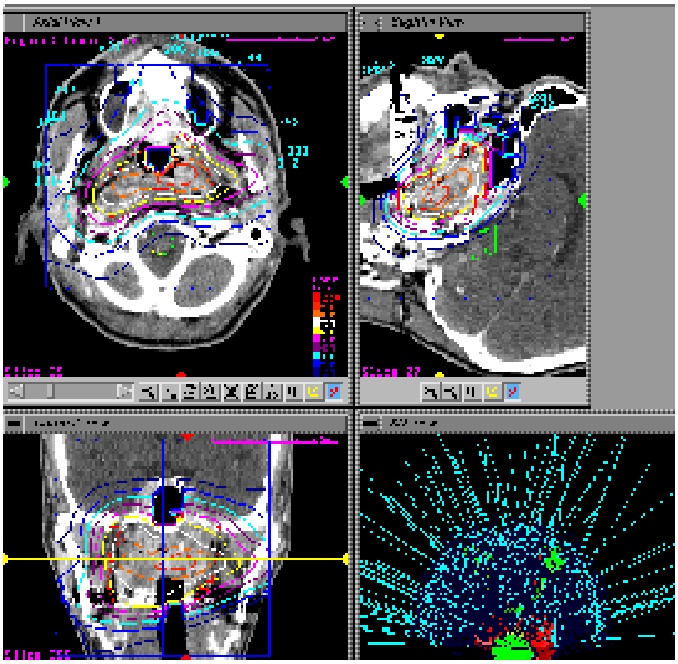
症例5 ： 上咽頭癌

（外部照射60Gy後、局所再発例）

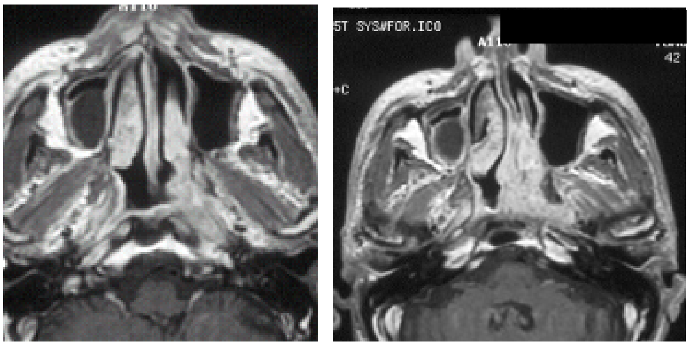
42歳、男性。平成11年2月、左頸部腫瘤に気付き、N病院耳鼻科にて生検を受けたところ上咽頭癌(高分化扁平上皮癌)、T3N2bM0、StageⅣと診断された。化学療法(CDDP+5-FU)施行後に放射線治療を施行されたが、40Gyにて中止となる。

平成12年7月、CTにて上咽頭後壁に局所再発および右咽頭後リンパ節転移あり、化学療法(CDDPのみ)を施行後に上咽頭へ放射線治療を20Gy照射した。腫瘍残存が疑われるためサイバーナイフ治療での追加治療となった。

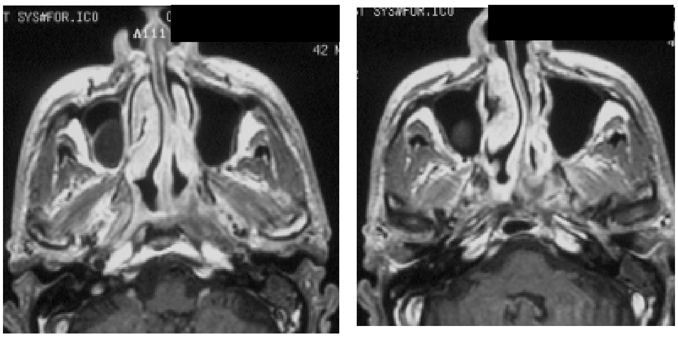
照射により腫瘍の縮小効果を認めたが、照射野辺縁再発を認めた。



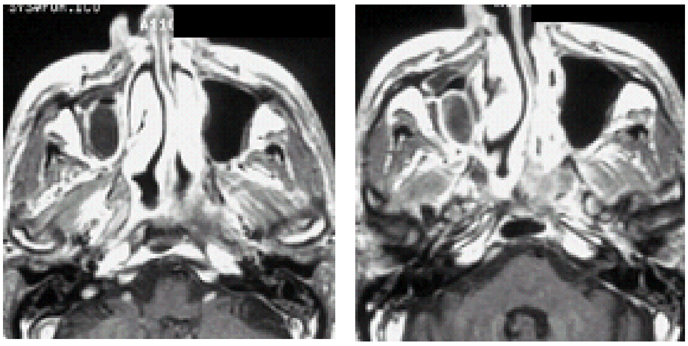
CTV	80.5cc
最大線量	57.5Gy
辺縁線量	32.4Gy
SRT	5回



治療前



治療後1ヶ月



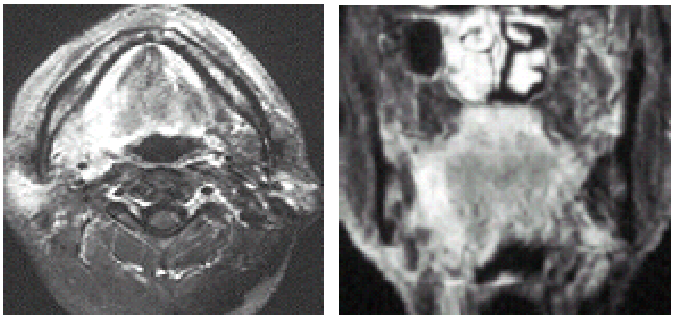
治療後2ヶ月

症例６ ： 頬粘膜癌再発

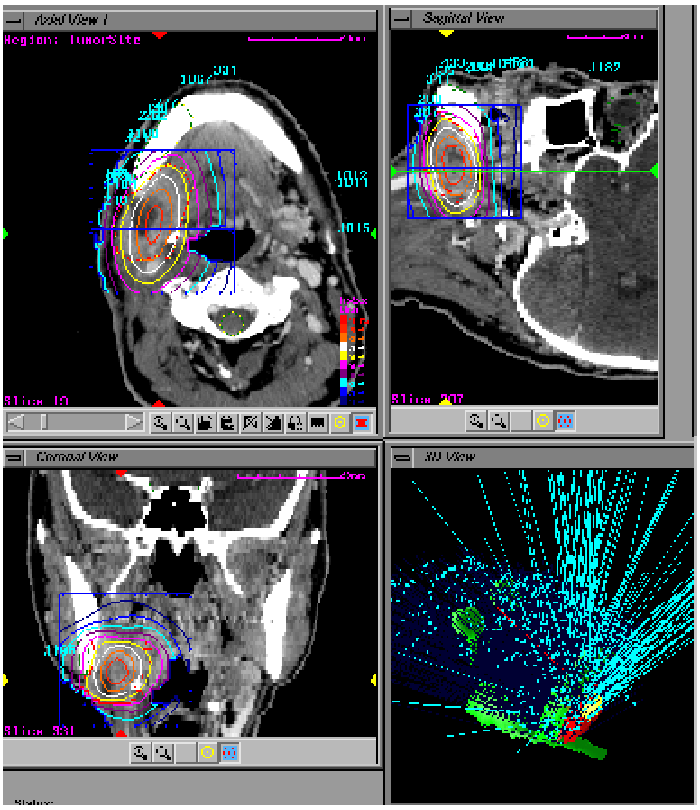
（外部照射60Gy後再発例）

71歳、男性。平成9年9月頬粘膜癌（扁平上皮癌）にてY大歯学部にて手術。平成11年8月右頸部リンパ節転移に対し、手術および放射線治療（60Gy）を受けたが、平成12年11月照射野辺縁より再発を認めた。

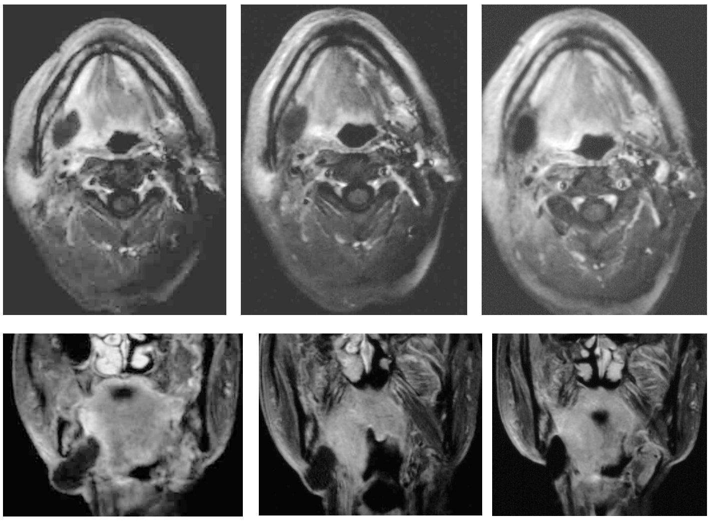
12月にサイバーナイフにて治療を施行した。治療部位には明かな腫瘍の再増大等は認められなかったが、嚢胞を呈した後に皮膚瘻を形成した。



治療前

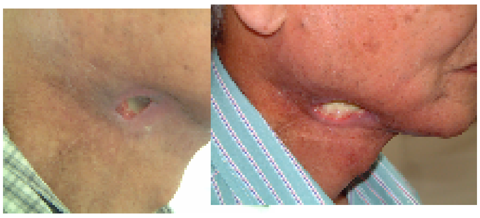


CTV	29.8cc
最大線量	72.4Gy
辺縁線量	32.2Gy
SRT	5回



治療後 1ヶ月　　治療後 3ヶ月　　治療後 6ヶ月

治療後 2ヶ月　　治療後 3ヶ月　　治療後 4ヶ月

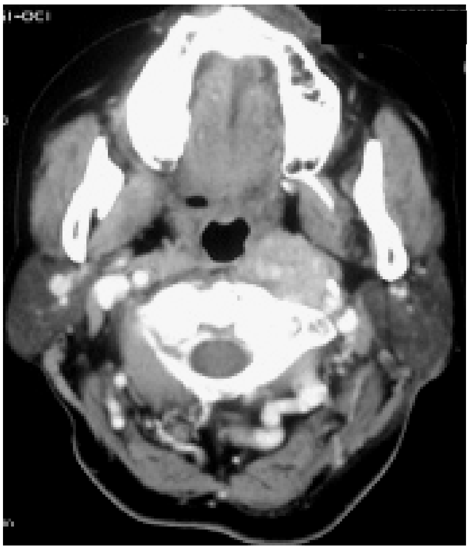


治療後 5ヶ月　　治療後 6ヶ月

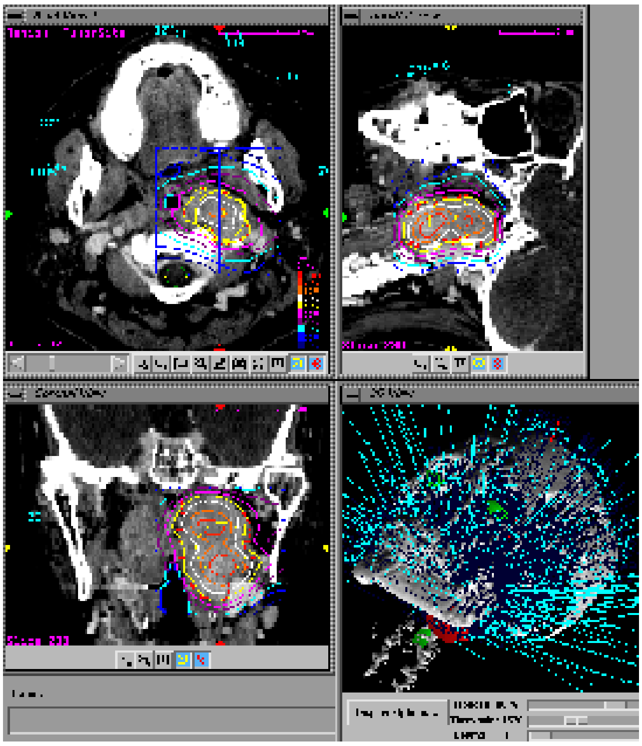
症例 7：ルビエールリンパ節転移

（甲状腺癌:乳頭状腺癌）

64歳、女性。平成3年10月に甲状腺癌(乳頭癌)にて手術が施行され、平成8年と平成11年にリンパ節転移のため頚部郭清術を施行されていた。
平成12年9月に左咽頭後リンパ節転移を認めたが、手術困難であった。このため131-I内用療法を検討したが、同部への131-Iの取り込みがなく適応がないと判断されたためサイバーナイフ治療の適応となった。
平成13年1月にサイバーナイフにて治療を施行した。急性有害反応として嘔気を認めたが、対症療法にて軽快した。
治療後の経過は良好で、治療約3年後も局所制御されている。



治療前



CTV	33.6cc
最大線量	65.1Gy
辺縁線量	38.0Gy
SRT	3回

治療後6ヶ月

症例８：舌癌再発(腺様嚢胞癌)

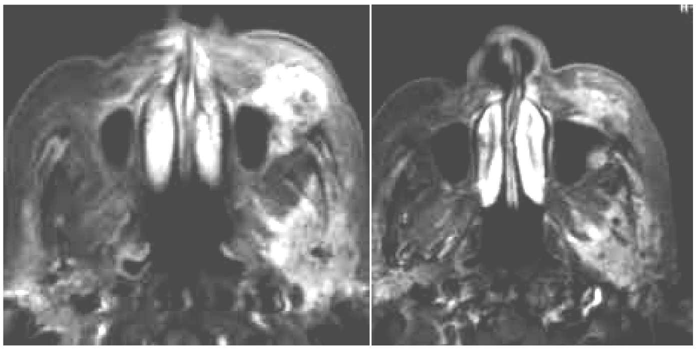
（外照射後、再発例）

69歳、女性。平成8年、O病院口腔外科にて左口腔底腫瘍（腺様嚢胞癌、T4N2cM0、Ⅳa期)との診断され、放射線治療を60Gy施行された。。

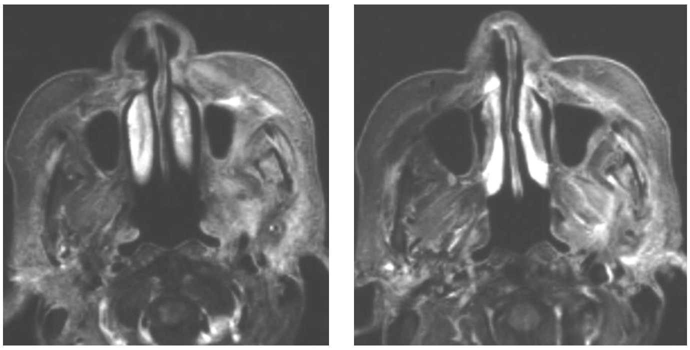
平成10年、左下顎部から咬筋に再発を認め、放射線治療を40Gy照射された。。

平成12年1月左上顎から下顎にかけて再発を認めた。以前の照射野内の再発であり一部はすでに100Gyとなる領域を認めていたが、局所制御目的でサイバーナイフでの治療となった。

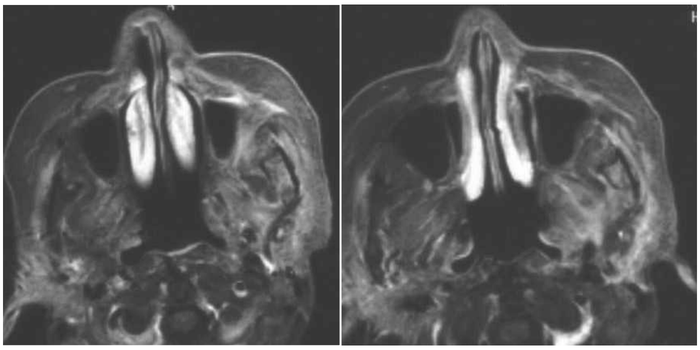
治療4ヵ月後のMRIにて腫瘍の縮小効果を認めた。 治療後2年5ヵ月時点で局所再発を認めた。



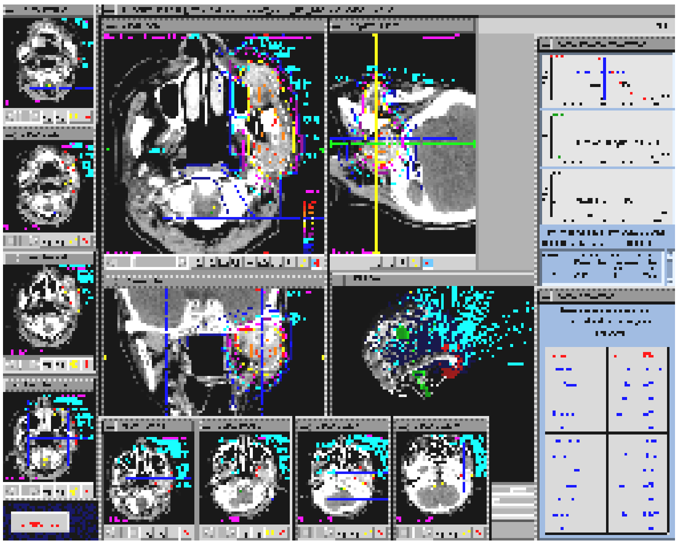
治療前



治療2ヵ月後



治療4ヵ月後



CTV	62.0cc
最大線量	65.7Gy
辺縁線量	34.5Gy
SRT	5回

あとがき

岡山旭東病院に於いて、2000年6月1日より 日本で3台目のサイバーナイフが稼動を開始しました。

その後、2002年12月までに約800例の治療を行いました。

2002年4月には、当初より念願であった体幹部治療対応への Version UP も行い、Fiducial (金属マーカー(金、ステンレス等))を使った治療も可能となりましたが、輸入代理店(メディテック社)が厚労省へ届け出た書類の不備から2002年12月４日突然治療中止となり、その後約1年半はサイバーナイフを使うことが出来なくなりました。

この期間を利用して、治療成績をまとめたいと思い主治医の先生方に治療後の経過等につきアンケート調査を試みましたが返答率が低く、集計するに十分なデータが集まりませんでした。そこで、治療成績は他の論文を参考にしていただくこととし、当院で経過観察が出来ている症例に限定した症例集を作成しました。

サイバーナイフはガンマーナイフと比べるとその固定方法等に特徴があり、その精度に関する関心が強いことから、精度や精度管理についても記載しました。

2003年12月に CyberKnife II として新たに医療機器として認可を受け、サイバーナイフが再スタートすることとなりました。

再稼動を契機に本小冊子を印刷・発行することとなりました。患者様の治療方針決定等への一助になれば幸いです。

なお、内容に不行き届きの点などもあるかと思いますがご容赦をおねがいます。

2004年7月12日

本書の編集・作成に関与したスタッフ

岡山旭東病院　サイバーナイフ室

脳神経外科	医師	馬場　義美
脳神経外科	医師	佐藤　健吾
岡山大学　医学部　放射線科	医師	武本　充広
岡山大学　医学部　放射線科	医師	姫井　健吾
診療放射線技師・医学物理士		井上　光広
診療放射線技師		長森　理江

703-8265　岡山市倉田567-1
岡山旭東病院　サイバーナイフ室
Tel 086-276-3231　　Fax 086-274-1028
http://www.kyokuto.or.jp/　mail cyberknife@kyokuto.or.jp